



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

61352-075

OTSUKA et al.

April 5, 2004

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2002年10月31日

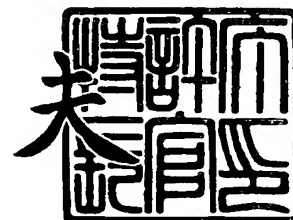
出 願 番 号  
Application Number: 特願2002-318190  
[ST. 10/C]: [JP2002-318190]

出 願 人  
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

2003年 9月30日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特2003-3080198

【書類名】 特許願

【整理番号】 2030240089

【提出日】 平成14年10月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/28  
H01L 29/16

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 鈴木 朝実良

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 大塚 信之

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 水野 紘一

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 吉井 重雄

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097445

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩橋 文雄

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 通信機器用半導体装置及び通信システム用機器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の半導体層と、

上記第 1 の半導体層の上に設けられ、上記第 1 の半導体層よりも伝導帯端のポテンシャルが低い第 2 の半導体層と、

上記第 2 の半導体層の上に設けられ、伝導帯端のポテンシャルが上記第 2 の半導体層の伝導帯端のポテンシャル及び上記第 2 の量子準位よりも高い第 4 の半導体層と、

上記第 2 の半導体層の内部に設けられ、上記第 2 の半導体層のうち上記第 4 の半導体層との界面付近の伝導帯側量子井戸構造における基底レベルの第 1 の量子準位とその直上レベルの第 2 の量子準位との間隔を調節するための第 3 の半導体層と

を備え、

上記第 2 の半導体層のうち少なくとも一部は、 $(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{Al}_{1-y}\text{AsSb}$  であって以下の条件 (数 1) (数 2)

$$(数 1) \quad 1 \geq x \geq 0.65$$

$$(数 2) \quad 1 \geq y \geq 0.8$$

を満たすような化合物半導体か

$\text{In}_s\text{Ga}_{1-s}(\text{AsSb})_t\text{P}_{1-t}$  であって以下の条件 (数 3) (数 4)

$$(数 3) \quad 1 \geq s \geq 0.65$$

$$(数 4) \quad 1 \geq t \geq 0.8$$

を満たすような化合物半導体のうち少なくとも 1 つの化合物半導体層から構成されることを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 3 の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第 2 の半導体層のうち上記第 3 の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも高く、

上記第 3 の半導体層は、少なくとも上記第 2 の量子準位の高さを調節するために設けられることを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載の通信機器用半導体装置において、  
上記第 2 の量子準位は、上記第 2 の半導体層のうち上記第 4 の半導体層と上記第 3 の半導体層とに挟まれた領域の、上記第 3 の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも高く、

上記第 1 の量子準位は、上記第 2 の半導体層のうち上記第 4 の半導体層と上記第 3 の半導体層とに挟まれた領域の、上記第 3 の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 4】 請求項 2 または 3 のうちいずれか 1 つに記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 3 の半導体層は、In, Ga, Al のうちから選ばれた少なくとも 1 つの III 属元素と N, As, P, Sb のうちから選ばれた少なくとも 1 つの V 属元素との化合物から構成されることを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の通信機器用半導体装置において、  
上記第 3 の半導体層は、InP, InGaAs, InGaAsP, InGaAsPN, InGaAlAs 及び AlGaAsSb のうちから選ばれたいずれか 1 つの材料から構成されることを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 6】 請求項 2 ～ 5 のうちいずれか 1 つに記載の通信機器用半導体装置において、

上記第 2 の半導体層のうち上記第 4 の半導体層と上記第 3 の半導体層とに挟まれた領域には第 5 の半導体層がさらに設けられており、

第 5 の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第 5 の半導体層を除く上記第 2 の半導体層のうち上記第 3 の半導体層と上記第 4 の半導体層とに挟まれた領域の伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の通信機器用半導体装置において、  
上記第 1 の量子準位は、上記第 5 の半導体層の伝導帯端のポテンシャルのうち最大のものよりも低いことを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項 8】 請求項 6 または 7 に記載の通信機器用半導体装置において、  
上記第 5 の半導体層は、InGaAs, InGaAsN 及び InGaAsPN

のうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることを特徴とする通信システム用半導体装置。

【請求項9】 請求項1に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも低く、

上記第3の半導体層は、少なくとも上記第1の量子準位の高さを調節するために設けられることを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項10】 請求項9に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第1の量子準位は、上記第3の半導体層のうち上記第2の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項11】 請求項9または10に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第3の半導体層は、In, Ga, Alのうちから選ばれた少なくとも1つのIII属元素とN, As, P, Sbのうちから選ばれた少なくとも1つのV属元素との化合物から構成されることを特徴とする通信機器用半導体装置。

【請求項12】 請求項11に記載の通信機器用半導体装置において、

上記第3の半導体層は、InGaAs, InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることを特徴とする通信システム用半導体装置。

【請求項13】 高周波信号を扱う通信システムに配置され、能動素子を有する通信システム用機器であって、

第1の半導体層と、

上記第1の半導体層の上に設けられ、上記第1の半導体層よりも伝導帯端のポテンシャルが低い第2の半導体層と、

上記第2の半導体層の上に設けられ、伝導帯端のポテンシャルが上記第2の半導体層の伝導帯端のポテンシャル及び上記第2の量子準位よりも高い第4の半導体層と、

上記第2の半導体層の内部に設けられ、上記第2の半導体層のうち上記第4の

半導体層との界面付近の伝導帯側量子井戸構造における基底レベルの第1の量子準位とその直上レベルの第2の量子準位との間隔を調節するための第3の半導体層と

を備え、

上記第2の半導体層のうち少なくとも一部は、InGaAsから構成されることを特徴とする通信システム用機器。

【請求項14】 請求項13に記載の通信システム用機器において、

上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも高く、

上記第3の半導体層は、少なくとも上記第2の量子準位の高さを調節するために設けられることを特徴とする通信システム用機器。

【請求項15】 請求項13または14に記載の通信システム用機器において、

上記第2の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも高く、

上記第1の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信システム用機器。

【請求項16】 請求項14または15に記載の通信システム用機器において、

上記第3の半導体層は、InP, InGaAs, InGaAsP, InGaAsPN, InGaAlAs及びAlGaAsSbのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることを特徴とする通信システム用機器。

【請求項17】 請求項13～16のうちのいずれか1つに記載の通信システム用機器において、

上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域には第5の半導体層がさらに設けられており、

第5の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第5の半導体層を除く上記

第2の半導体層のうち上記第3の半導体層と上記第4の半導体層とに挟まれた領域の伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信システム用機器。

【請求項18】 請求項17に記載の通信システム用機器において、

上記第1の量子準位は、上記第5の半導体層の伝導帯端のポテンシャルのうち最大のものよりも低いことを特徴とする通信システム用機器。

【請求項19】 請求項17または18に記載の通信システム用機器において

、  
上記第5の半導体層は、InGaAs、InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることを特徴とする通信システム用機器。

【請求項20】 請求項13に記載の通信システム用機器において、

上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも低く、

上記第3の半導体層は、少なくとも上記第1の量子準位の高さを調節するために設けられることを特徴とする通信システム用機器。

【請求項21】 請求項20に記載の通信システム用機器において、

上記第1の量子準位は、上記第3の半導体層のうち上記第2の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことを特徴とする通信システム用機器。

【請求項22】 請求項20または21に記載の通信システム用機器において

、  
上記第3の半導体層は、InGaAs、InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることを特徴とする。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、通信機器用半導体装置及びこれを用いた通信システム用機器に関し、特にヘテロ接合電界効果型トランジスタ及びこれを用いた通信システム用機器に関するものである。



## 【0002】

## 【従来の技術】

近年、高周波特性、発光特性、耐圧特性など特定の優れた機能を有する半導体デバイスを実現するために、新しい半導体材料や半絶縁材料の開発が活発に行われている。半導体材料の中でもインジウム燐（InP）系半導体は、代表的な半導体材料である珪素（Si）に比べて電子移動度や飽和電子速度が大きい半導体であることから、次世代の高周波デバイス、高温デバイスなどへの応用が期待される材料である。そして、携帯電話や携帯情報端末（PDA）の他、家庭やオフィスの機器などをネットワーク化する、高周波を用いた通信用システムへの応用は、InP材料の用途として非常に有望である。

## 【0003】

InPを用いたデバイスの1つとして、InP基板に格子整合するInAlAs（インジウム・アルミニウム・ヒ素）／InGaAs（インジウム・ガリウム・ヒ素）ヘテロ接合を用いたヘテロ接合電界効果型トランジスタ（以下、HFETと称す）がある。このHFETの高性能化は従来より進められており、集積回路に応用するための研究も盛んに行われている。

## 【0004】

図15は、従来の代表的なHFET（以下、「従来のHFET」と称す）の構造を示す断面図である。同図に示すように、従来のHFETは、半絶縁性のInP基板901と、InP基板901上に設けられたアンドープのInAlAsからなる厚さ200nmのバッファ層902と、バッファ層902上に設けられたアンドープのInGaAsからなる厚さ15nmのチャネル層903と、チャネル層903の上に設けられたアンドープのInAlAsからなる厚さ2nmのスペーサ層904と、スペーサ層904の上に例えば共蒸着により設けられた面密度 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ のSiを含む原子層ドーピング面からなる不純物添加層905と、不純物添加層905の上に設けられたアンドープのInAlAsからなる厚さ15nmのバリア層906と、バリア層906の上に設けられたゲート電極911と、バリア層906の上のゲート電極911の両側方に設けられた $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のSiを含むn型InGaAsからなるキャップ層907と

、チャンネル層 903、スペーサ層 904、不純物添加層 905、バリア層 906 及びキャップ層 907の一部に Si をイオン注入することにより設けられたソース領域 912 及びドレイン領域 913 と、ソース領域 912 上に設けられたソース電極 910 と、ドレイン領域 913 の上に設けられたドレイン電極 909 とを備えている。また、バッファ層 902、チャンネル層 903、スペーサ層 904、バリア層 906 及びキャップ層 907 はそれぞれ分子線エピタキシー (MBE) 法や化学気相成長 (CVD) 法などにより堆積された層であり、InP 基板 901 に格子整合している。なお、ドレイン電極 909 及びソース電極 910 は共に AuGe/Ni 等からなっており、ドレイン領域 913 とソース領域 912 とそれぞれオーミック接触している。

#### 【0005】

次に、図 2 (a) は、図 15 に示す IIa-IIa 線における従来の HFET のエネルギーバンド図である。同図は、HFET の駆動時におけるエネルギーバンド図である。ここでは、図の簡略化のために、バリア層 906 からチャンネル層 903 までの伝導帯のエネルギーバンドのみを示す。

#### 【0006】

図 2 (a) に示すように、従来の HFET において、スペーサ層 904 の伝導帯端のポテンシャルはチャンネル層 903 の伝導帯のポテンシャルよりも高くなっており、スペーサ層 904 とチャンネル層 903 の伝導帯側にはエネルギー障壁 (バンド不連続) が存在する。ここで示す従来の HFET の場合、このバンド不連続量は、0.55 eV である。

#### 【0007】

従来の HFET においては、上述のような構造をとるために、キャリアとなる電子をチャンネル領域中の狭い領域に閉じこめることができる。すなわち、キャリアがチャンネル層 903 とスペーサ層 904 との界面に蓄積し、散乱が抑制された状態でチャンネル層 903 中を高速で移動する。こうして、バルク結晶中を走行する電子よりも移動度の大きい二次元電子ガス 908 が生じるため、従来の HFET では、高速動作が可能になっている。

#### 【0008】

また、チャネル層 903 を形成する  $\text{InGaAs}$  においては、 $\text{InAlAs}$  などと比較して電子の有効質量が小さいことによって、キャリアの移動度はより大きくなっている。

#### 【0009】

なお、従来の HFE T においては、ゲート電極 911 に印加する電圧を調節することでチャネル層のバンド曲がりを調節できるので、二次元電子ガス 908 の濃度を変化させ、ソース電極ードレイン電極間を流れる電流を制御することも可能になっている。

#### 【0010】

このように、従来の HFE T は、キャリア電子の移動度が大きく、高周波を利用した通信機器に要求される優れた高周波特性を有している。

#### 【0011】

##### 【特許文献 1】

特開平 6-120259 号公報

#### 【0012】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来の HFE T は、高速動作時に耐圧性や電気的特性の安定性が低下することがあり、通信システム用機器に利用するには改善の余地が残されていた。

#### 【0013】

そこで、本願発明者らが HFE T の耐圧性及び電気的特性を低下させる原因について検討した結果、以下のことが分かった。

#### 【0014】

HFE T を高速動作させると、そのチャネル内で衝突イオン化が起こり、電子・ホール対が生成される。このうち電子は他のキャリア電子と同様にドレイン電極へと流れる。これに対し、生成したホールは、電子に比べて非常に速度が遅く、電子の動作には追従できない。このため、HFE T の動作中にホールが滞留しやすく、雑音の発生要因となり易い。また、チャネル層 903 とバッファ層 902 との間には価電子帯においてもエネルギー障壁が存在するため、衝突イオン化

によって生成されたホールはバッファ層 902 の方向に流れることができず、チャネル層 903 内に蓄積したままとなる。

#### 【0015】

衝突イオン化の頻度がさらに高くなると、チャネル層 903 内のホール濃度が増大し、一部のホールがゲート電極に流れ込んでゲートリーク電流を生じさせる。また、チャネル層 903 内に蓄積したホールはトランジスタ内のポテンシャル分布を変化させ、トランジスタのソース抵抗やしきい値電圧を変化させる。その結果、トランジスタの出力特性が不安定となる。すなわち、衝突イオン化の頻度が増加することによりホールの蓄積が生じやすくなり、その結果、トランジスタの耐圧は著しく低下する。

#### 【0016】

また、衝突イオン化が起こるまでのエネルギーを持っていないとしても、走行中のキャリアがある程度の運動エネルギーを持ったときに、より上の準位へ遷移すると、キャリアの閉じこめが弱くなり、移動度が低下する。

#### 【0017】

以上の検討結果から、チャネル層における衝突イオン化を抑制するとともに、キャリアが高い量子準位に遷移しにくくすることにより、上述の不具合を改善できることが分かった。

#### 【0018】

本発明の目的は、衝突イオン化の発生とキャリアの高い量子準位への遷移とを抑制することにより、優れた高周波特性を示し、且つ耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させた通信機器用半導体装置及びこれを用いた通信システム用機器を提供することにある。

#### 【0019】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の通信機器用半導体装置は、第 1 の半導体層と、上記第 1 の半導体層の上に設けられ、上記第 1 の半導体層よりも伝導帯端のポテンシャルが低い第 2 の半導体層と、上記第 2 の半導体層の上に設けられ、伝導帯端のポテンシャルが上記第 2 の半導体層の伝導帯端のポテンシャル及び上記第 2 の量子準位よりも高い

第4の半導体層と、上記第2の半導体層の内部に設けられ、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層との界面付近の伝導側量子井戸構造における基底レベルの第1の量子準位とその直上レベルの第2の量子準位との間隔を調節するための第3の半導体層とを備え、上記第2の半導体層のうち少なくとも一部は、 $(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{Al}_{1-y}\text{AsSb}$ であって以下の条件(数1)(数2)

$$(数1) \quad 1 \geq x \geq 0.65$$

$$(数2) \quad 1 \geq y \geq 0.8$$

を満たすような化合物半導体か

$\text{In}_s\text{Ga}_{1-s}(\text{AsSb})_t\text{P}_{1-t}$ であって以下の条件(数3)(数4)

$$(数3) \quad 1 \geq s \geq 0.65$$

$$(数4) \quad 1 \geq t \geq 0.8$$

を満たすような化合物半導体のうち少なくとも1つの化合物半導体層から構成されている。

#### 【0020】

この構成により、第3の半導体層の伝導端のポテンシャル及び第4の半導体層と第3の半導体層との距離を調節して第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を調節することが可能になる。例えば、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げるように第3の半導体層を設けることで、第2の半導体層において生じる衝突イオン化が抑制されるので、 $\text{InGaAs}$ 層をチャネルとする従来のHFEETに比べて、ホールの発生及び蓄積が起りにくくすることができる。その結果、耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させることができる。また、キャリアを第2の量子準位に遷移しにくくすることができるため、キャリア移動度の低下を防ぐことができる。その一方で第1の量子準位はより強く閉じこめられた状態となっているため、キャリア移動度とキャリア濃度は高められ、優れた高周波特性を安定して発揮する通信機器用半導体装置が実現できる。

#### 【0021】

同時に、第2の半導体層だけでは $\text{InP}$ に対する格子定数が大きくなっているためそれ単体では歪み臨界膜厚の制限があってチャネル層に $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ よりも移動度の高い材料を導入することが難しかったが $\text{InP}$ 基板に

格子整合しているチャンネル内挿入層を入れることによって第2の半導体層はその膜厚を小さく抑えることができ、歪み臨界膜厚の範囲内で組成を大きく変化させることができ、とくに移動度を高速にできるInとSbの組成を同時に大きくすることも可能となる。すなわち、チャンネル層材料の移動度を従来に比べて非常に大きくすることができるわけである。

#### 【0022】

上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも高く、上記第3の半導体層は、少なくとも上記第2の量子準位の高さを調節するために設けられることにより、例えば、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げることができ、第2の半導体層において生じる衝突イオン化を抑制することができる。また、本発明の通信機器用半導体装置の動作時には、キャリアが第2の量子準位に遷移しにくくなるため、二次元電子ガスの移動度を向上させることができる。

#### 【0023】

上記第2の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも高く、上記第1の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、第3の半導体層と第4の半導体層との距離を調節することで、第2の量子準位の高さを選択的に調節することができる。この構成に従えば、例えば第3の半導体層と第4の半導体層との距離が小さくなるように第3の半導体層を設けることによって第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げることができるので、キャリアが第1の量子準位から第2の量子準位へ遷移しにくくし、動作時に生じる二次元電子ガスの移動度を高めることができる。

#### 【0024】

上記第3の半導体層は、In, Ga, Alのうちから選ばれた少なくとも1つのIII属元素とN, As, P, Sbのうちから選ばれた少なくとも1つのV属元素との化合物から構成されることにより、高速動作が可能で、且つ高速動作時に

ける耐圧性及び電気的特性の安定性が向上された通信機器用半導体装置を実現することができる。

#### 【0025】

上記第3の半導体層は、InP、InGaAs、InGaAsP、InGaAsPN、InGaAlAs及びAlGaAsSbのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることにより、本発明の通信機器用半導体装置は特に容易に実現される。

#### 【0026】

上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域には第5の半導体層がさらに設けられており、第5の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第5の半導体層を除く上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層と上記第4の半導体層とに挟まれた領域の伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、第2の量子準位だけでなく第1の量子準位の高さをも調節することができる。例えば、第2の量子準位高さが高く、第1の量子準位の高さが低くなるように第3の半導体層及び第5の半導体層を設けた場合には、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔をより効果的に広げることができ、第2の半導体層において生じる衝突イオン化が抑制されるので、InGaAs層をチャネルとする従来のHFETに比べて、ホールの発生及び蓄積を起こりにくくすることができる。その結果、耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させることができる。また、キャリアを第2の量子準位に遷移しにくくすることができるため、キャリア移動度の低下を防ぐことができる。その一方で第1の量子準位はより強く閉じこめられた状態となっているため、キャリア移動度とキャリア濃度は高められ、優れた高周波特性を安定して発揮する通信機器用半導体装置が実現できる。

#### 【0027】

上記第1の量子準位は、上記第5の半導体層の伝導帯端のポテンシャルのうち最大のものよりも低いことにより、第5の半導体層の厚みを調節することで、第1の量子準位の高さを調節することが可能になる。例えば、第5の半導体層の厚みを広げることで、第1の量子準位をより低くすることができ、第1の量子準位

と第2の量子準位との間隔を広げることができる。

【0028】

上記第5の半導体層は、InGaAs、InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることにより、本発明の通信機器用半導体装置は容易に実現される。

【0029】

また、上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも低く、上記第3の半導体層は、少なくとも上記第1の量子準位の高さを調節するために設けられることにより、例えば、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げることができる。また、第2の半導体層において生じる衝突イオン化を抑制することができる。また、本発明の通信機器用半導体装置の動作時には、キャリアが第2の量子準位に遷移しにくくなるため、二次元電子ガスの移動度を向上させることができる。

【0030】

上記第1の量子準位は、上記第3の半導体層のうち上記第2の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、第1の量子準位の高さを選択的に調節することが可能になる。例えば、第1の量子準位の高さが低くなるように第3の半導体層を設けた場合には、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広くすることができる。第2の半導体層において生じる衝突イオン化を抑制することができる。すなわち、InGaAs層をチャネルとする従来のHFETに比べて、ホールの発生及び蓄積が起こりにくくすることができ、その結果、耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させることができる。また、この場合にはキャリアを第2の量子準位に遷移しにくくすることができるので、キャリア移動度を向上させることができる。

【0031】

上記第3の半導体層は、In、Ga、Alのうちから選ばれた少なくとも1つのIII属元素とN、As、P、Sbのうちから選ばれた少なくとも1つのV属元素との化合物から構成されることが好ましい。



## 【0032】

上記第3の半導体層は、InGaAs、InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることが特に好ましい。

## 【0033】

本発明の通信システム用機器は、高周波信号を扱う通信システムに配置され、能動素子を有する通信システム用機器であって、第1の半導体層と、上記第1の半導体層の上に設けられ、上記第1の半導体層よりも伝導帯端のポテンシャルが低い第2の半導体層と、上記第2の半導体層の上に設けられ、伝導帯端のポテンシャルが上記第2の半導体層の伝導帯端のポテンシャル及び上記第2の量子準位よりも高い第4の半導体層と、上記第2の半導体層の内部に設けられ、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層との界面付近の伝導帯側量子井戸構造における基底レベルの第1の量子準位とその直上レベルの第2の量子準位との間隔を調節するための第3の半導体層とを備え、上記第2の半導体層のうち少なくとも一部は、InGaAsから構成されている。

## 【0034】

これにより、第2の半導体層において生じる衝突イオン化が抑制されるので、InGaAs層をチャネルとする従来の通信システム用機器に用いられるHFETに比べて、動作時にホールの発生及び蓄積が起りにくくなり、能動素子の耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させることができる。また、キャリアが第2の量子状態に遷移しにくくなっているため、キャリア移動度の低下を防ぐことができ、能動素子は優れた高周波特性を安定して発揮することができる。その結果、能動素子を有する本発明の通信システム用機器の電気的特性の安定性の向上と高周波特性の改善とを図ることができる。

## 【0035】

上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも高く、上記第3の半導体層は、少なくとも上記第2の量子準位の高さを調節するために設けられることにより、例えば、第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広げることができ、第2の半導体層において生じる衝突イオン化を抑制することができる。

また、能動素子の動作時には、キャリアが第2の量子準位に遷移しにくくなるため、二次元電子ガスの移動度を向上させることができる。その結果、能動素子を有する本発明の通信システム用機器の電気的特性の安定性の向上と高周波特性の改善とを図ることができる。

#### 【0036】

上記第2の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも高く、上記第1の量子準位は、上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域の、上記第3の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、第2の量子準位の高さを選択的に調節することが可能になるので、優れた高周波特性を安定して発揮する能動素子を実現することができ、ひいては本発明の通信システム用機器の電気的特性の安定性の向上と高周波特性の改善とを図ることができる。

#### 【0037】

上記第3の半導体層は、InP、InGaAs、InGaAsP、InGaAsPN、InGaAlAs及びAlGaAsSbのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることが好ましい。

#### 【0038】

上記第2の半導体層のうち上記第4の半導体層と上記第3の半導体層とに挟まれた領域には第5の半導体層がさらに設けられており、第5の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第5の半導体層を除く上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層と上記第4の半導体層とに挟まれた領域の伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、さらに効果的に第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広くすることができる。

#### 【0039】

上記第5の半導体層は、InGaAs、InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることが好ましい。

#### 【0040】

上記第3の半導体層の伝導帯端のポテンシャルは、上記第2の半導体層のうち上記第3の半導体層を除く部分の伝導帯端のポテンシャルよりも低く、上記第3の半導体層は、少なくとも上記第1の量子準位の高さを調節するために設けられることにより、例えば第1の量子準位の高さを低くするように調節することで第1の量子準位と第2の量子準位との間隔を広くすることができる。この結果、能動素子の電気的特性の安定化及び高周波特性の向上を図ることができ、ひいては該能動素子を有する本発明の通信システム用機器の電気的特性の安定化及び高周波特性の向上を図ることができる。

#### 【0041】

上記第1の量子準位は、上記第3の半導体層のうち上記第2の半導体層との界面における伝導帯端のポテンシャルよりも低いことにより、第1の量子準位の高さを選択的に調節することが可能になる。

#### 【0042】

上記第3の半導体層は、InGaAs、InGaAsN及びInGaAsPNのうちから選ばれたいずれか1つの材料から構成されることが好ましい。

#### 【0043】

##### 【発明の実施の形態】

##### （第1の実施形態）

本発明の第1の実施形態に係る通信機器用半導体装置について、図を用いて以下に説明する。

#### 【0044】

図1は、HFE Tである本実施形態の通信機器用半導体装置を示す断面図である。同図に示すように本実施形態の通信機器用半導体装置は、半絶縁性のInP基板101と、InP基板101上に設けられたアンドープのIn<sub>0.52</sub>Al<sub>0.48</sub>Asからなる厚さ200nmのバッファ層102と、バッファ層102上に設けられ、In<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>As<sub>0.8</sub>Sb<sub>0.2</sub>からなるチャネル層103と、チャネル層103の上に設けられたアンドープのIn<sub>0.52</sub>Al<sub>0.48</sub>Asからなる厚さ2nmのスペーサ層105と、スペーサ層105の上に例えば共蒸着により設けられた面密度 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ のSiを含む原子層

ドーピング面からなる不純物添加層 106 と、不純物添加層 106 の上に設けられたアンドープの  $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  からなる厚さ 15 nm のバリア層 107 と、バリア層 107 の上に設けられたゲート電極 112 と、バリア層 107 の上のゲート電極 112 の両側方に設けられた  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の Si を含む n 型  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  からなるコンタクト層 108 と、チャネル層 103, スペーサ層 105, 不純物添加層 106, バリア層 107 及びコンタクト層 108 の一部に Si をイオン注入することにより設けられたソース領域 114 及びドレイン領域 115 と、ソース領域 114 上に設けられたソース電極 111 と、ドレイン領域 115 の上に設けられたドレイン電極 110 とを備えている。なお、ドレイン電極 110 及びソース電極 111 は共に AuGe/Ni 等からなっており、ドレイン領域 115 とソース領域 114 とそれぞれオーミック接触している。

#### 【0045】

なお、 $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  チャネル層 103 は、少なくともその一部が  $(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{Al}_{1-y}\text{AsSb}$  であって以下の条件 (数1) (数2)

$$(数1) \quad 1 \geq x \geq 0.65$$

$$(数2) \quad 1 \geq y \geq 0.8$$

を満たすような化合物半導体か

$\text{In}_s\text{Ga}_{1-s}(\text{AsSb})_t\text{P}_{1-t}$  であって以下の条件 (数3) (数4)

$$(数3) \quad 1 \geq s \geq 0.65$$

$$(数4) \quad 1 \geq t \geq 0.8$$

を満たすような化合物半導体であることが最も好ましいが、本実施例では煩雑さを避けるため  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  (以下  $\text{InGaAsSb}$  と表記) であるとしており、 $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  スペーサ層 105 の In 組成も 0.52 以下であってよいが、一例として  $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  を選定してある。

#### 【0046】

また、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、駆動時にチャネル層 1

03のうちスペーサ層105との界面付近にキャリアが蓄積し、二次元電子ガス109を生じる。このとき、電流はドレイン電極110から順にドレイン領域115, 二次元電子ガス109, ソース領域114, ソース電極111の経路を流れる。

#### 【0047】

本実施形態の通信機器用半導体装置が従来と異なる点は、チャネル層103が、その内部に厚さ1nm以上10nm以下の $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ からなるチャネル内挿入層104を有していることである。そして、駆動時には、チャネル層103のうちチャネル内挿入層104の上方に二次元電子ガス109が生じる。ここで、チャネル内挿入層104を含むチャネル層103の厚さは約15nmであって、チャネル内挿入層104とスペーサ層105との距離d1は、例えば2nm以上14nm以下である。また、バッファ層102, チャネル内挿入層104及びチャネル層103, スペーサ層105, バリア層107及びコンタクト層108はそれぞれ分子線エピタキシー(MBE)法や化学気相成長(CVD)法などにより堆積された層である。 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ チャネル内挿入層104のIn組成は0.55以下であってよいが、ここでは一例として $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ を選定してある。

#### 【0048】

次に、本実施形態の通信機器用半導体装置において、チャネル内挿入層104を設けたことによる効果について、図を用いて説明する。

#### 【0049】

図2(a), (b)は、それぞれ図15のIIa-IIa線断面における従来のHFETのエネルギーバンド図、及び図1のIIb-IIb線断面における本実施形態の通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図である。図を簡略化するために、ここではバリア層からチャネル層までの伝導帯のみのエネルギーバンドを示している。

#### 【0050】

図2(a), (b)に示すように、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、従来のHFETと同様に、スペーサ層105の伝導帯端のポテンシャルは

チャンネル層 103 の伝導帯のポテンシャルよりも高くなっており、スペーサ層 105 とチャンネル層 103 の伝導帯側にはエネルギー障壁（バンド不連続）が存在する。この大きさは上記チャンネル層 103 とスペーサ層 105 に用いた材料の組成を変えることによって大きく変わるが、チャンネル層 103 とスペーサ層 105 とに本実施例で選択したような組成  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  と  $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  をそれぞれ選定した場合には  $0.65\text{ eV}$  となる。このバンド不連続量は、従来の HFE T の  $0.55\text{ eV}$  より大きいのは明白であるがその  $0.1\text{ eV}$  の差は二次元電子ガスの移動度に対しては有意な差であり、高周波特性を大幅に改善しうるものである。

#### 【0051】

また、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、チャンネル内挿入層 104 の組成が  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  であるために、チャンネル層 103 を構成する  $\text{InGaAsSb}$  よりも伝導帯端のポテンシャルが高くなっており、チャンネル層 103 とチャンネル内挿入層 104 との間にも伝導帯側に約  $0.03\text{ eV}$  以上のバンド不連続が存在する。このため、チャンネル層 103 のうち、スペーサ層 105 とチャンネル内挿入層 104 との間の厚さ  $d_1$  の狭い領域にキャリアが閉じこめられることになり、キャリアの移動度を従来よりも向上させることができるようになる。これに加えて、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、キャリアが蓄積する層の厚みを薄くしているため、チャンネル層 103 のうちスペーサ層 105 - チャンネル内挿入層 104 間に形成される下位の量子準位  $E_1'$ （基底レベルの量子準位）と上位の量子準位  $E_2'$  との差が従来の HFE T における下位の量子準位  $E_1$  と上位の量子準位  $E_2$  との差よりも大きくなっている。そのため、キャリアが上位の量子準位  $E_2'$  に遷移する確率が従来の HFE T よりも低くすることができ、キャリアを従来よりも強く量子準位  $E_1'$  に閉じこめることができる。また、チャンネル内挿入層 104 の伝導帯端のポテンシャルを上位の量子準位  $E_2'$  よりも高く設計することにより、キャリアを確実にチャンネル層 103 のうちスペーサ層 105 - チャンネル内挿入層 104 間に閉じこめることができる。これらにより、ソースドレイン間電圧が高くなっている状態での FET 動作においてもスペーサ層 105 - チャンネル内挿入層 104 間のチャンネル層 10

3に生じる二次元電子ガス109の濃度及び移動度を高めることができる。また、チャネル層103のバンドギャップ幅を変えることなく衝突イオン化を抑制することができる。ここで、下位の量子準位E1'は、チャネル層における基底レベルの量子準位であり、上位の量子準位E2'は、基底レベルの直上レベルの量子準位である。なお、本実施形態におけるチャネル内挿入層104のバンドギャップ幅は0.7 eV以上である。

#### 【0052】

ここで、チャネル内挿入層104とスペーサ層105との距離d1を調節することによって、下位の量子準位E1'及び上位の量子準位E2'の高さを調節することができる。特に、チャネル内挿入層104の伝導帯端がE1'に重ならないよう低くなっていることを前提とすると、チャネル内挿入層104とスペーサ層105との距離d1が小さくなるほど上位の量子準位E2'は高くなる。この際の下位の量子準位は距離d1の変動により大きく変動しないので、下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'との差も大きくすることができる。このときの上位の量子準位E2'と下位の量子準位E1'との間隔は、チャネル内挿入層104を設けない場合のチャネル層103における上位と下位の量子準位の間隔よりも広がっている。

#### 【0053】

また、上位の量子準位E2'がチャネル層103の伝導帯端ポテンシャルよりも高く、チャネル内挿入層104のうち少なくとも一部の伝導帯端よりも低くなるようにチャネル内挿入層104を設けることにより、量子準位E2'をより大きく変動させることができる。

#### 【0054】

ただし、チャネル内挿入層104とスペーサ層105との距離d1は、あまりに小さすぎると下位の量子準位E1'が発現できなくなるので、下位の量子準位E1'が発現でき、且つ上位の量子準位E2'がチャネル内挿入層104の伝導帯端よりも低くなるような値であればよい。すなわち、d1は2 nm以上14 nm以下であることが好ましい。

#### 【0055】

チャンネル内挿入層 104 はこの他にもチャンネル層の結晶品質についても有利な点がある。この点について以下で説明する。

#### 【0056】

本実施形態のようにチャンネル層 103 に  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  などのような  $\text{InP}$  に対して大きく格子定数の異なる材料を使用した場合には 15 nm の膜厚を転位などの欠陥を少なくして積層することは歪み臨界膜厚の観点から言って不可能である。このため、本実施形態のように  $\text{InP}$  に格子整合したチャンネル内挿入層 104 を  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  として挿入しておくことと  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  チャンネル層 103 の層膜厚を薄くできるため、歪み臨界膜厚の範囲内にとどめることができ、 $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  チャンネル層 103 を転位などの欠陥を少なくして積層することが可能となる。

#### 【0057】

また、 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  チャンネル内挿入層 104 の  $\text{In}$  組成を 0.53 よりも少なくすることによって  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  チャンネル層 103 とは逆方向の格子不整合を与えることによって  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  チャンネル層 103 に加わっている歪みを逆方向にバランスすることもできるという利点を併せ持っている。

#### 【0058】

これらによって、 $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  のように  $\text{InP}$  に対して大きな格子定数ひいては大きな格子不整合を有しているような材料であってもチャンネル内挿入層 104 の組成を最適化して応用することによって高品質で欠陥の無いチャンネル層として利用することが可能となる。

#### 【0059】

以上のように、本実施形態の通信機器用半導体装置によれば、チャンネル内挿入層 104 を設けることで、駆動時にキャリアの遷移及び衝突イオン化を抑制し、二次元電子ガスの移動度を向上させることができるので、 $\text{InP}$  基板を用いた半導体装置本来の優れた高周波特性を引き出すことができる。これに加えて、本実施形態の通信機器用半導体装置は、従来の HFE T よりも耐圧が大きく、且つ特



性が安定している。そのため、本実施形態の通信機器用半導体装置は、高周波を用いた通信システムに好ましく用いられる。

#### 【0060】

また、本実施形態の通信機器用半導体装置において、InP基板101上の各層はCVD法やMBE法により形成される。すなわち、Inの原料としてトリメチルインジウムまたはInメタルを、Al原料としてトリメチルアルミまたはAlメタルを、Ga原料としてトリメチルガリウムまたはGaメタルを、As原料としてAsH<sub>3</sub>またはAsメタルを、P原料としてPH<sub>3</sub>またはPメタルをそれぞれ用いて各層を成長させる。このように、従来のHFETとほぼ同様の公知技術により容易に製造できることも利点の1つである。

#### 【0061】

なお、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、チャンネル層103内にチャンネル内挿入層104が埋め込まれていたが、スペーサ層105とチャンネル内挿入層104との間にチャンネル層103が存在していれば以上で説明した効果が得られるので、チャンネル層103の下部全体をチャンネル内挿入層104としても問題はない。

#### 【0062】

なお、本実施形態においては、バッファ層102及びチャンネル内挿入層104がInP基板101に格子整合する例を中心として説明してきたが、前述のチャンネル内挿入層104の効果の中で多少触れたように、必ずしも格子整合は必要とされない。もしInP基板101に格子整合させる場合には、InGaAsの組成中、Inの組成が0.5以上0.55以下であるのが好ましい。InP基板101にInGaAsチャンネル内挿入層104を意図的に格子整合させない場合、衝突イオン化を抑制するためには、チャンネル内挿入層104のバンドギャップ幅は0.77 eV以上とし、下位の量子準位E1'と上位の量子準位E2'との間隔を広げるようにすればよい。InP基板に格子整合する場合の方が信頼性は高くなるが、格子整合させずにチャンネル層103に歪みを加える方がキャリアの移動度を大きくできる場合があるし、歪みの補償を行なった方が結晶の品質は高まることが想定される。

## 【0063】

また、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、チャンネル層 103 にキャリアを供給するための層として原子層ドーピング面からなる不純物添加層 106 を設けたが、これに代えて、厚さ 2 nm 程度のアンドープ InAlAs 層と高濃度で Si などの n 型不純物を含む厚さ 2 nm 程度の n 型 InAlAs 層とを交互に繰り返し積層することにより形成された InAlAs 積層部を設けても効果に変わりはない。

## 【0064】

また、チャンネル内挿入層 104 は、伝導帯端のポテンシャルが上位の量子準位  $E_2'$  以上であれば、In, Ga, Al 等の III 族元素と N, As, P, Sb 等の V 族元素との任意の組み合わせによる化合物から構成されていてもよい。特に、チャンネル内挿入層 104 は、InP, InGaAs, InGaAsP, InGaAsPN, InGaAlAs 及び AlGaAsSb のうちから選ばれたいずれか 1 つの材料から構成されることが好ましい。さらにはチャンネル内挿入層 104 の伝導帯ポテンシャルを変えることによっても下位の量子準位と上位の量子準位との間隔を調節することができる。

## 【0065】

なお、本実施形態においては、動作時にゲートバイアスを印加する通信機器用半導体装置について説明したが、ゲートバイアスを印加しない状態においても、チャンネル層内にチャンネル内挿入層を設けることにより、チャンネル層における上位の量子準位の高さを主に調節することができ、下位の量子準位と上位の量子準位との間隔を調節することができる。このような量子井戸構造は、例えば半導体レーザーなどにも応用することが可能である。

## 【0066】

(第 2 の実施形態)

本発明の第 2 の実施形態として、下位の量子準位  $E_1'$  と上位の量子準位  $E_2'$  とを第 1 の実施形態とは異なる構成で制御する通信機器用半導体装置について以下説明する。

## 【0067】

図3は、本発明の第2の実施形態に係る通信機器用半導体装置を示す断面図である。同図に示すように、本実施形態の通信機器用半導体装置は、InP基板151と、InP基板151上に設けられたアンドープのIn<sub>0.52</sub>Al<sub>0.48</sub>Asからなる厚さ200nmのバッファ層152と、バッファ層152上に設けられ、アンドープのIn<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>As<sub>0.8</sub>Sb<sub>0.2</sub>からなる厚さ10nm以上15nm以下の第2チャネル層153と、第2チャネル層153の上に設けられ、アンドープのInGaAsNからなる厚さ7.5nmの第1チャネル層154と、第1チャネル層154の上に設けられたアンドープのIn<sub>0.52</sub>Al<sub>0.48</sub>Asからなる厚さ2nmのスペーサ層155と、スペーサ層155の上に例えば共蒸着により設けられた面密度 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ のSiを含む原子層ドーピング面からなる不純物添加層156と、不純物添加層156の上に設けられたアンドープのIn<sub>0.52</sub>Al<sub>0.48</sub>Asからなる厚さ15nmのバリア層157と、バリア層157の上に設けられたゲート電極162と、ゲート電極162の両側方に設けられた $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のSiを含むn型InGaAsからなるコンタクト層158と、第1チャネル層154、スペーサ層155、不純物添加層156、バリア層157及びコンタクト層158の一部にSiをイオン注入することにより設けられたソース領域164及びドレイン領域165と、ソース領域164上に設けられたソース電極161と、ドレイン領域165の上に設けられたドレイン電極160とを備えている。そして、ドレイン電極160及びソース電極161は共にAuGe/Ni等からなっており、ドレイン領域165及びソース領域164とそれぞれオーミック接触している。

#### 【0068】

なお、In<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>As<sub>0.8</sub>Sb<sub>0.2</sub>の第2チャネル層153は

少なくともその一部が  $(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{Al}_{1-y}\text{AsSb}$  であって以下の条件  
(数1) (数2)

$$(数1) \quad 1 \geq x \geq 0.65$$

$$(数2) \quad 1 \geq y \geq 0.8$$

を満たすような化合物半導体か

$\text{In}_s\text{Ga}_{1-s}(\text{AsSb})_t\text{P}_{1-t}$ であって以下の条件(数3)(数4)

(数3)  $1 \geq s \geq 0.65$

(数4)  $1 \geq t \geq 0.8$

を満たすような化合物半導体であることが最も好ましいが、本実施例では煩雑さを避けるため  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  (以下  $\text{InGaAsSb}$  と表記) であるとしており、 $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  スペーサ層 155 の  $\text{In}$  組成も 0.52 以下であってよいが、一例として  $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  を選定してある。

#### 【0069】

また、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、駆動時に主に第1チャネル層 154 のうちスペーサ層 155 との界面付近にキャリアが蓄積し、二次元電子ガス 159 を生じる。このとき、電流はドレイン電極 160 から順にドレイン領域 165, 二次元電子ガス 159, ソース領域 164, ソース電極 161 の経路を流れる。

#### 【0070】

また、バッファ層 152, 第2チャネル層 153 及び第1チャネル層 154, スペーサ層 155, バリア層 157 及びコンタクト層 158 はそれぞれ分子線エピタキシー (MBE) 法や化学気相成長 (CVD) 法などにより堆積された層である。

#### 【0071】

本実施形態の通信機器用半導体装置が従来の HFE T と異なる点は、従来の  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  からなるチャネル層に相当する  $\text{InGaAsSb}$  からなる第2チャネル層 153 と  $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  スペーサ層 155 との間に  $\text{InGaAsN}$  からなる第1チャネル層 154 が挿入されていることである。この第1チャネル層 154 を設けたことによる効果を図を用いて以下で説明する。

#### 【0072】

図4(a), (b) は、それぞれ図15のIIa-IIa線断面における従来の HFE T のエネルギーバンド図 (図2(a) と同じ図)、及び図3のIVb-IVb線断面

における本実施形態の通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図である。

#### 【0073】

図4 (a), (b) に示すように、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、スペーサ層 155 の伝導帯端のポテンシャルは第1チャンネル層 154 の伝導帯のポテンシャルよりも高くなっており、スペーサ層 155 と第1チャンネル層 154 の伝導帯側にはエネルギー障壁が存在する。また、第1チャンネル層 154 を構成する  $\text{InGaAsN}$  は、 $\text{InGaAs}$  よりも伝導帯端のポテンシャルが低いため、第1チャンネル層 154 と第2チャンネル層 153 との間にもエネルギー障壁が存在し、伝導帯端のエネルギーバンドは第1チャンネル層 154 の部分が下向きにへこんだ形になっている。このため、第1チャンネル層 154 内にキャリア電子が蓄積し、装置の駆動時には二次元電子ガス 159 が生じる。

#### 【0074】

また、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、第1の実施形態と同様、従来の HFE T のチャンネル層に比べて薄い第1チャンネル層 154 内にキャリアを閉じこめているため、二次元電子ガス 159 の移動度と濃度とを従来よりも向上させることができる。加えて、第1チャンネル層 154 の厚み  $d_3$  を厚くすることで、第1チャンネル層 154 を設けない場合と比べ主として第1チャンネル層 154 における下位の量子準位  $E_1'$  が低くなっている。そのため、第1チャンネル層 154 における下位の量子準位と上位の量子準位  $E_2'$  との間隔を従来の HFE T よりも広げることができるので、下位の量子準位  $E_1'$  の状態にあるキャリアの存在確率を大きくすることができる。この結果、量子準位  $E_1'$  の状態にある電子が上位の量子準位  $E_2'$  の状態に遷移しにくくなって二次元電子ガス 159 の移動度が向上する。加えて、衝突イオン化が抑制され、耐圧性と動作の安定性も向上する。このように、本実施形態の通信機器用半導体装置は、 $\text{InP}$  基板を用いた半導体装置本来の優れた高周波特性を安定して発揮することができるので、高周波を用いる通信システム機器に好ましく用いられる。

#### 【0075】

ここで、第1チャンネル層の厚み  $d_3$  (本実施形態では  $7.5\text{ nm}$  以下) は、バイアス印加時に下位の量子準位  $E_1'$  が第1チャンネル層 154 内に取り込まれて

いる厚さであれば任意でよい。こうすることで、第1チャネル層154の厚み $d_3$ を調節することによって下位の量子準位 $E_1'$ を調節することが可能になる。

#### 【0076】

また、第1チャネル層154の厚み $d_3$ は、第2チャネル層153の伝導帯端のポテンシャルが、第1チャネル層における上位の量子準位 $E_2'$ は第1チャネル層154の伝導帯端を越えて第2チャネル層153の伝導帯端にかかるような値であればよい。この際には、第1チャネル層154の厚み $d_3$ を変化させたときの、上位の量子準位 $E_2'$ の変動を下位の量子準位 $E_1'$ の変動よりも小さくすることができる。本実施形態においては、第1チャネル層154の厚み $d_3$ を厚くしているので、第1チャネル層154を設けない場合に比べて下位の量子準位 $E_1'$ を選択的に低くすることができ、下位の量子準位 $E_1'$ と上位の量子準位 $E_2'$ との間隔を広げることが可能になっている。そのため、上位の量子準位 $E_2'$ と下位の量子準位 $E_1'$ との間隔は、少なくともInGaAsSb単独における上位と下位の量子準位の間隔よりも広がっている。このとき、伝導帯における第1チャネル層154とスペーサ層155との間のバンド不連続量は、0.65 eV以上となる。

#### 【0077】

また、第1チャネル層154を構成するInGaAsNの組成は、バンドギャップ幅が0.6 eV以下になるようにする。In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asに対してNを1%から7%の範囲で添加し、In組成をNの添加量に応じたInP基板からの格子定数のずれを補正する量だけ増やすことになるが、Nの添加による格子定数のずれはわずかなのでInの組成0.57以下であれば十分条件を満たす範囲となる。第1チャネル層154を構成するInGaAsNは必ずしもInP基板と格子整合している必要はなく、InGaAsSb第2チャネル層153がInP基板より格子定数が大きくなる方向へ格子定数がずれているのに対してInGaAsNはInP基板よりも格子定数が小さくなる方向へ格子定数がずれるので歪みをバランスする効果を持っており、In組成を調節してInP基板に格子定数を近づける必要はない。むしろ、より格子定数を小さくする方向にIn組成を調節して歪みのバランスを整えることの方が重要であって、その際にはI

n 組成は 0.45 以上ということになる。

#### 【0078】

なお、本実施形態においては、バッファ層 152 が InP 基板 151 に格子整合する例で説明してきたが、本発明第 1 の実施形態で説明したように必ずしも格子整合していなくてもよい。

#### 【0079】

また、第 1 チャネル層 154 は、InGaAsN に代えて、In, Ga, Al 等の III 族元素と N, As, P, Sb 等の V 族元素との組み合わせで構成される化合物からなってもよい。特に、第 1 チャネル層 154 は、InGaAs, InGaAsN 及び InGaAsPN のうちから選ばれたいずれか 1 つの材料から構成されることが好ましい。第 1 チャネル層 154 を異なる材料から構成することによっても第 1 チャネル層 154 と第 2 チャネル層 153 との間の伝導帯側のバンド不連続量を変えることができるので、下位の量子準位 E1' と上位の量子準位 E2' の間隔を調節することができる。

#### 【0080】

なお、本実施形態においては、動作時にゲートバイアスを印加する通信機器用半導体装置について説明したが、ゲートバイアスを印加しない状態においても、第 2 チャネル層 153 よりも伝導帯のポテンシャルが低い第 1 チャネル層 154 を設けることにより、第 1 チャネル層 154 における下位の量子準位の高さを選択的に調節することができ、下位の量子準位と上位の量子準位との間隔を調節することができる。このような量子井戸構造は、例えば半導体レーザーなどにも応用することが可能である。

#### 【0081】

また、本実施形態の通信機器用半導体装置においても第 1 の実施形態と同様に、第 1 チャネル層 154 にキャリアを供給するための層として不純物添加層 156 に代えて  $\delta$  ドープ構造を有する InAlAs 積層部を設けてよい。

#### 【0082】

(第 3 の実施形態)

本発明の第 3 の実施形態として、第 1 の実施形態と第 2 の実施形態とを組み合

わせた通信機器用半導体装置を以下説明する。

### 【0083】

図5は、本発明の第3の実施形態に係る通信機器用半導体装置を示す断面図である。同図に示すように、本実施形態の通信機器用半導体装置は、InP基板251と、InP基板251上に設けられたアンドープの $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ からなる厚さ200nmのバッファ層252と、バッファ層252上に設けられ、アンドープの $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$ からなる厚さ10～15nmの第2チャネル層253と、第2チャネル層253の上に設けられ、アンドープのInGaAsNからなる厚さ7.5nm以下の第1チャネル層255と、第1チャネル層255の上に設けられたアンドープの $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ からなる厚さ2nmのスペーサ層256、スペーサ層256の上に例えば共蒸着により設けられた面密度 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ のSiを含む原子層ドーピング面からなる不純物添加層257と、不純物添加層257の上に設けられたアンドープの $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ からなる厚さ15nmのバリア層258と、バリア層258の上に設けられたゲート電極263と、ゲート電極263の両側方に設けられた $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のSiを含むn型InGaAsからなるコンタクト層259と、第1チャネル層255、スペーサ層256、不純物添加層257、バリア層258及びコンタクト層259の一部にSiをイオン注入することにより設けられたソース領域264及びドレイン領域265と、ソース領域264上に設けられたソース電極262と、ドレイン領域265の上に設けられたドレイン電極261とを備えている。そして、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、第1の実施形態と同様に、第2チャネル層253の内部にアンドープの $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ からなる厚さ1～10nmのチャネル内挿入層254が埋め込まれている。また、ドレイン電極261及びソース電極262は共にAuGe/Ni等からなっており、ドレイン領域265及びソース領域264とそれぞれオーミック接触している。

### 【0084】

なお、 $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$ の第2チャネル層253は、少なくともその一部が $(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{Al}_{1-y}\text{AsSb}$ であって以下の条件



(数1) (数2)

(数1)  $1 \geq x \geq 0.65$

(数2)  $1 \geq y \geq 0.8$

を満たすような化合物半導体か

$\text{In}_s\text{Ga}_{1-s}(\text{AsSb})_t\text{P}_{1-t}$ であって以下の条件(数3) (数4)

(数3)  $1 \geq s \geq 0.65$

(数4)  $1 \geq t \geq 0.8$

を満たすような化合物半導体であることが最も好ましいが、本実施例では煩雑さを避けるため  $\text{In}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}_{0.8}\text{Sb}_{0.2}$  (以下  $\text{InGaAsSb}$  と表記) であるとしており、 $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  スペーサ層 256 の  $\text{In}$  組成も 0.52 以下であってよいが、一例として  $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  を選定してある。

#### 【0085】

本実施形態の通信機器用半導体装置の駆動時には第1チャンネル層 255 内に二次元電子ガス 260 が生じる。この二次元電子ガス 260 はソース領域 264 を介してソース電極 262 と、ドレイン領域 265 を介してドレイン電極 261 と、それぞれ電氣的に接続されている。

#### 【0086】

また、 $\text{InP}$  基板 251 上に設けられた各層は、第1及び第2の実施形態と同様に、それぞれ  $\text{InP}$  基板 251 に格子整合している。

#### 【0087】

以上のように、本実施形態の通信機器用半導体装置は、第1の実施形態で説明したチャンネル内挿入層と、第2の実施形態で説明した第1及び第2のチャンネル層とを併せて備えたものである。以下、上記の構成の効果について図を用いて説明する。

#### 【0088】

図6(a), (b) は、それぞれ図15のIIa-IIa線断面における従来の H F E T のエネルギーバンド図(図2(a), 図4(a)と同じ図)、及び図5のVI b-VI b線断面における本実施形態の通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図

である。ここで、同図 (b) においては、第 1 チャンネル層 255 の膜厚は  $d_1$  で、第 1 チャンネル層 255 とチャンネル内挿入層 254 との間隔は  $d_2$  で、チャンネル内挿入層 254 の膜厚は  $d_3$  で、それぞれ示されている。

#### 【0089】

図 6 (a), (b) に示すように、本実施形態の通信機器用半導体装置においては、第 1 チャンネル層 255 の伝導帯端とスペーサ層 256 の伝導帯端との間には  $0.55\text{ eV}$  以上のエネルギー障壁が存在する。また、第 1 チャンネル層 255 が第 2 チャンネル層 253 よりも伝導帯端のポテンシャルが低い  $\text{InGaAsN}$  から構成されているため、第 1 チャンネル層 255 と第 2 チャンネル層 253 との間にも  $0.2\text{ eV}$  以上のエネルギー障壁が存在している。この結果、第 1 チャンネル層 255 内ではキャリア電子が蓄積し、移動度が大きい二次元電子ガス 260 が生じる。特に、第 2 の実施形態と同様に、キャリアが膜厚の薄い第 1 チャンネル層 255 内に閉じこめられるので、二次元電子ガス 260 の移動度及び濃度は従来の HFE T におけるよりも大きくなる。加えて、第 1 チャンネル層 255 の厚み  $d_1$  を厚くすることで、第 1 チャンネル層 255 における量子準位  $E_1'$  と上位の量子準位  $E_2'$  との間隔を従来のチャンネル層における量子準位の差よりも広くすることができるので、量子準位  $E_1'$  の状態にある電子を上位の量子準位  $E_2'$  に遷移しにくくすることができる。また、第 1 チャンネル層 255 内での衝突イオン化も抑制されるので、本実施形態の通信機器用半導体装置では、耐圧性と動作の安定性が向上する。ここで、第 1 チャンネル層 255 の厚み  $d_1$  は、下位の量子準位  $E_1'$  が第 1 チャンネル層 255 内に取り込まれている厚さが好ましい。下位の量子準位  $E_1'$  が少なくとも第 1 チャンネル層 255 と第 2 チャンネル層との界面における第 2 のチャンネル層の伝導帯におけるポテンシャルよりも低くなっており、第 1 チャンネル層 255 の伝導帯ポテンシャルが下位の量子準位  $E_1'$  にかかっているならば第 1 チャンネル層 255 内にキャリアを閉じこめることができる。

#### 【0090】

なお、本実施形態では、第 1 チャンネル層 255 のバンドギャップ幅は  $0.6\text{ eV}$  以下とし、チャンネル内挿入層 254 のバンドギャップ幅は  $0.7\text{ eV}$  以上である。

## 【0091】

上記の効果に加え、本実施形態の通信機器用半導体装置は、In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asからなるチャンネル内挿入層254を備えているので、第1及び第2の実施形態と比べても下位の量子準位E<sub>1</sub>'と上位の量子準位E<sub>2</sub>'との間隔を広くすることができる。この結果、本実施形態の通信機器用半導体装置では、第1及び第2の実施形態に比べて二次元電子ガス260の移動度及び濃度を高くすることができる。また、第1のチャンネル層内での衝突イオン化の発生を抑制されると共に、キャリアが上位の量子状態に遷移することも抑制されている。

## 【0092】

なおこの際、上位の量子準位E<sub>2</sub>'は第1チャンネル層255を越えて第2チャンネル層253のうちチャンネル内挿入層254の上の領域にかかってよい。

## 【0093】

このように、本実施形態の通信機器用半導体装置は、InP基板を用いた半導体装置本来の優れた高周波特性を安定して発揮することができるので、高周波を用いる通信システム機器に好ましく用いられる。

## 【0094】

(第4の実施形態)

ー通信システムの基本的な構成ー

本発明の第4の実施形態として、第1～第3の実施形態に係る通信機器用半導体装置を用いた情報通信システムの一例を説明する。

## 【0095】

図7は、本発明の各実施形態におけるミリ波を利用した通信システム（ネットワークシステム）の全体概念の一例を示す斜視図である。同図に示すように、基幹光ファイバーライン（Trunk Line 0-Fiber）から分岐する多数の光ファイバーラインの先端にそれぞれ基地局が設けられている。また、各基地局から各家庭（又はオフィス）にミリ波による通信を行なうための無線通信網が形成されている。そして、各家庭又はオフィスの無線端末（移動局）では、ミリ波を用いて、基地局から各家庭又はオフィスの機器に対する各種メディアの供給や、インターネット通信や、移動局間の通信などをすることが可能になっている。つまり、ミリ

波は光に近い波長を有することから物体による電波妨害を受けやすいので、基地局までは光ファイバー網を介して光通信によるデータの送受信が行なわれ、基地局で光信号と電気信号との間で変換が行われ、家庭又はオフィスと基地局との間ではミリ波を利用したワイヤレスアクセスが可能な構成となっている。システムの一部においては、基幹光ファイバーラインに直接接続される基地局と携帯情報端末や企業内の端末との間で、アンテナを介してワイヤレスアクセスが可能に構成されている。

#### 【0096】

図8は、図7に示す基地局と各家庭やオフィス内の無線端末との間における通信システムの構成を概略的に示すブロック図である。同図に示すように、本実施形態の通信システムは、光ファイバー網（ネットワーク）300を介して互いに接続される多数の無線基地局301と、各無線基地局301を介して互いに通信を行なうための無線端末302とを備えている。各無線基地局301は、電波の受信、送信を行なうためのアンテナ装置311と、アンテナ装置311で受信した電波信号を増幅するなどの機能を有する受信増幅部312と、アンテナ装置311に増幅した高周波信号を送り込むための送信増幅部313と、受信増幅部312や送信増幅部313に接続される無線送受信部314と、各デバイスの動作を制御するための制御部315と、無線基地局301と光ファイバー網300との間の信号を接続するための有線接続部316とを備えている。また、無線端末302は、電波の受信、送信を行なうためのアンテナ装置321と、アンテナ装置321で受信した電波信号を増幅するなどの機能を有する受信増幅部322と、アンテナ装置321に増幅した高周波信号を送り込むための送信増幅部323と、各デバイスの動作を制御するための制御部325とを備えている。

#### 【0097】

図9は、無線基地局301の内部構成をより詳細に示すブロック回路図である。同図に示すように、アンテナ装置311は、アンテナ本体311aと、アンテナ本体311aの送受信を切り換えるためのアンテナスイッチ311bとによって構成されている。また、受信増幅部312は、フィルタ331と、低雑音アンプ（LNA）332とを直列に2段ずつ配置して構成されている。無線送受信部

314には局所増幅器と高周波発信器との出力を混合して高周波信号を生成するためのミキサ334が配置されている。送信増幅部313には、ドライバアンプ335と、フィルタ336と、ミドルアンプ337と、メインアンプ338とが配置されている。有線接続部316は、音声信号を処理するためのベースバンド信号処理部317と、インターフェース部318と、光ファイバー網（ネットワーク）300に接続される交換制御部319とによって構成されている。なお、図示しないが、光信号と電気信号との間で変換を行う信号変換装置がインターフェース部318に設けられている。

#### 【0098】

図10は、図9に示す送信増幅部313に配置されているメインアンプ338の構造例を示す電気回路図である。同図に示すように、メインアンプ338は、ゲートに入力信号 $P_{in}$ を受けて、ドレインから出力信号 $P_{out}$ を出力するHFE Tを配置して構成されている。このHFE Tとして、第1～第3の実施形態の通信機器用半導体装置が用いられる。

#### 【0099】

また、HFE Tのゲートには抵抗 $R_g$ を介してゲートバイアス $V_g$ が印加され、HFE Tのドレインにはチョークインダクタを介して電源電圧 $V_d$ が印加されており、HFE Tのソースは接地に接続されている。また、入力側回路には、HFE Tに入力側回路を介して入力信号 $P_{in}$ を供給するための入力端子 $T_{in}$ と、信号源抵抗 $R_S$ を介して入力端子 $T_{in}$ に電力を供給するための信号源と、入力側インピーダンス整合回路を構成するキャパシタ $C_1$ 、 $C_{in}$ 及びマイクロストリップ線路とが設けられている。出力側回路には、外部に出力側回路を介して出力信号を送るための出力端子 $T_{out}$ と、出力側インピーダンス整合回路を構成するキャパシタ $C_2$ 、 $C_{out}$ 及びマイクロストリップ線路と、出力端子 $T_{out}$ と接地との間に介在する負荷抵抗 $R_L$ とが設けられている。なお、HFE Tの代わりにバイポーラトランジスタを設けた場合には、バイポーラトランジスタのエミッタと接地との間には、破線で示されるダイオードが配置されることがある。

#### 【0100】

移動体通信に用いられるパワーアンプには高効率、低ひずみといった特性が要

求される。一般に高周波用パワーデバイスでは効率とひずみはトレードオフの関係にある。パワーアンプでは低ひずみを確保したうえでいかに効率を上げるかが重要となる。図10に示すように、入力側インピーダンス整合回路では入力端子 Pin から H F E T 側を見た反射係数ができるだけ小さくなるように、並列接続されたキャパシタ C i n の容量値と、マイクロストリップ線路の長さ L i n の長さとが調整されている。ここで、キャパシタ C 1 , C 2 は電流阻止用のコンデンサであり、高周波領域では十分に低いインピーダンスとなっている。ゲートバイアス供給用の抵抗 R g は、高周波電力の漏れがないようゲート入力インピーダンスに比べて高い値に設定されている。ドレインバイアス供給用のチョークインダクタ L のインダクタンスや、キャパシタ C 1 , C 2 の容量値, 抵抗 R g の抵抗値は高周波領域のインピーダンスには影響を与えない。

#### 【0101】

本実施形態の通信システムにおいては、優れた高周波特性を安定して示す第1～第3の実施形態で示した通信機器用半導体装置をメインアンプ等の通信機器に有しているので、従来の H F E T を用いた場合に比べて信頼性が向上している。

#### 【0102】

##### －半導体集積回路装置の例－

次に、基地局、携帯情報端末 ( P D A ) , 送受信モジュール ( 家電機器内に配置されるものや、通信カードなど ) などの通信システム用機器に配置されるトランジスタ、ダイオードなどの能動素子と、キャパシタ、インダクタなどの受動素子とを集積してなる半導体集積回路装置の例について説明する。ここでは、半導体集積回路装置として M M I C の構成を有するものについて説明するが、本発明の半導体集積回路装置は、M M I C のごとくモジュール化されたものに限定されることはない。

#### 【0103】

図11は、本発明の実施形態における I n P 基板上にショットキーダイオード, H F E T , M E S F E T , キャパシタ及びインダクタを集積してなる半導体集積回路装置 ( M M I C ) の断面図である。

#### 【0104】

高濃度の鉄 (Fe) がドーピングされた厚み約  $100\ \mu\text{m}$  の半絶縁性の InP 基板 410 には、アンドーピングで厚み約  $200\ \text{nm}$  の第 1 の活性領域である InAlAs 層 415 と、厚み約  $70\ \text{nm}$  の第 2 の活性領域である多重  $\delta$  ドーピング InGaAs 層 412 と、アンドーピングで厚み約  $10\ \text{nm}$  の InAlAs 層 416 と、アンドーピングで厚み約  $15\ \text{nm}$  の InGaAs 層 417 と、InGaAs 層 417 内に埋め込まれた厚みが  $1\sim 10\ \text{nm}$  の埋め込みチャンネル層と、厚みが約  $65\ \text{nm}$  の多重  $\delta$  ドーピング InAlAs 層 413 と、エッチング阻止層である厚み約  $5\ \text{nm}$  の InP 層 418 とが設けられている。

#### 【0105】

ここで、図 11 の下方に拡大して示すように、多重  $\delta$  ドーピング InGaAs 層 412 は、高濃度 (例えば  $1\times 10^{20}\ \text{atoms}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) の Si (シリコン) を含む厚みが約  $1\ \text{nm}$  の InGaAs 単結晶からなる n 型ドーピング層 412a の 5 層と、InGaAs 単結晶からなる厚み約  $10\ \text{nm}$  のアンドーピング層 412b の 6 層とを積層して構成されている。一方、多重  $\delta$  ドーピング InAlAs 層 413 は、高濃度 (例えば  $1\times 10^{20}\ \text{atoms}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) の Si を含む厚みが約  $1\ \text{nm}$  の n 型ドーピング層 413a の 5 層と、アンドーピングの InAlAs 単結晶からなる厚み約  $5\ \text{nm}$  のアンドーピング層 413b の 6 層とを積層して構成されている。そして、n 型ドーピング層 412a は、量子効果によるアンドーピング層 412b へのキャリアの浸みだしが可能な程度に薄く形成されている。n 型ドーピング層 412a, 413a はいわゆる  $\delta$  ドーピング層であり、急峻な濃度勾配を示す複数の高濃度ドーピング層 ( $\delta$  ドーピング層) を低濃度ドーピング層 (アンドーピング層) と交互に積層した構造は多重  $\delta$  ドーピング層と称される。

#### 【0106】

また、InP 基板 410 上のうち多重  $\delta$  ドーピング InGaAs 層 412 が露出している部分の上には、ショットキーダイオード 420 (整流素子) と、MESFET 430 (パワーアンプ) とが設けられ、InP 基板 410 のうち多重  $\delta$  ドーピング InAlAs 層 413 が最上部に存在する部分の上には、HFET 440 (パワーアンプ) と、キャパシタ 450 (容量素子) と、インダクタ 460 (誘導素子) とが設けられている。すなわち、図 10 に示す送信増幅部 313 のメインア

ンプ 338 を構成している H F E T , ダイオード (破線部) , キャパシタ , インダクタや、周波数領域がミリ波よりも低い高周波信号 (10GHz 以下) を増幅する回路に配置される M E S F E T が 1 つの I n P 基板に設けられている。

#### 【0107】

ここで示す例では、メインアンプ 338 を構成する H F E T 440 のチャネル層となる I n G a A s S b 層 417 に第 1 の実施形態で説明したチャネル内挿入層 419 が埋め込まれているため、n 型ドープ層 413 a から供給されたキャリアが I n G a A s S b 層 417 のうち多重 δ ドープ I n A l A s 層 413 とチャネル内挿入層 419 との間の領域に良好に閉じこめられることになる。その上、衝突イオン化の発生が抑制されるとともにキャリアが上位の量子準位に遷移しにくくなっているため、本実施形態で示すメインアンプ 338 等の通信機器は優れた高周波特性を安定して発揮することができるようになっている。

#### 【0108】

ー通信システムの各部の構成ー

次に、第 1 ～ 第 3 の通信機器用半導体装置が用いられる通信システムの各部について説明する。

#### 【0109】

図 12 は、図 8 に示す通信システム中の無線端末 (移動局) 302 の一例を概略的に示す図である。ここでは、PDC 方式を採用している。図 12 に示す高周波無線部は、図 8 に示す受信増幅部 322 と送信増幅部 323 とを含んでいる。図 8 に示す移動局である無線端末 302 の制御部は、図 12 に示す CPU と、暗号 TDMA-CCT と、SP-CODEC と、ROM/RAM と、TERM-ADP と、DPSK-MOD と、HiSpeed SYNTH と、IF-IC と、CPSK-DEMOD (EQL) とによって構成されている。

#### 【0110】

図 12 に示す高周波無線部内のリニア PA (パワーアンプ) は、例えば第 1 の実施形態の通信機器用半導体装置である H F E T を有する回路により構成することができる。その際、制御部用の各回路中の H F E T としても本発明の通信機器用半導体装置は利用される。



## 【0111】

図13は、図9に示すミキサ334又は図12に示すミキサの回路構成例を示す電気回路図である。ここでは、ローカルアンプ付きミキサの例を示している。つまり、ローカル信号 $S_{lo}$ をゲートに受け、これを増幅した信号 $S_{out1}$ をドレインから出力するローカル信号増幅用のHFE T1と、2つの信号 $S_{mix1}$ 、 $S_{mix2}$ をゲートに受け、これを混合して増幅した信号 $S_{out2}$ をドレインから出力するミキサ信号増幅用のHFE T2とが配置されている。この回路中のHFE T、ダイオード、キャパシタを、例えば図11に示すように、1つのInP基板上に形成して、1つのMMICを構成することができる。なお、図11には示されていないが、抵抗素子は、インダクタの導体膜の一部と見なせるので、抵抗素子をInP基板上に形成することは極めて容易である。

## 【0112】

図14は、図12に示すSPDTスイッチを含む高出力スイッチ回路、又は図9に示すアンテナスイッチに配置される高出力スイッチ回路の例を示す電気回路図である。この例では、入力信号 $S_{in1}$ 、 $S_{in2}$ を受けて、いずれかの入力信号 $S_{in1}$ 、 $S_{in2}$ を増幅した信号 $S_{out}$ を出力するように構成されている。ここで、出力信号HFE T1-HFE T4、キャパシタC1-C6、ダイオードD1-D2、及び抵抗素子R1-R6を1つのInP基板に形成して、MMICを構成することができる。

## 【0113】

以上に示すように、移動局や基地局中の種々の通信システム用機器に本発明の通信機器用半導体装置が用いられる。本発明の通信機器用半導体装置は、従来のものに比べて優れた高周波特性を有し、且つ電気的特性も安定しているので、これを通信システム用機器に使用することで、通信システム用機器の性能向上を図ることができる。

## 【0114】

## 【発明の効果】

本発明の通信機器用半導体装置によれば、HFE Tにおいて、チャネル層中にチャネル内挿入層を埋め込むこと等によりバンド構造を最適化することで、キャ

リアのチャネル層内への閉じこめを強め、高い移動度を有する二次元電子ガスを高濃度で生じさせることができる。また、電離衝突によるイオン化が抑制されると共にキャリアが上位の量子準位へ遷移しにくくなっているため、電気特性の安定化をも図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施形態に係る通信機器用半導体装置を示す断面図

【図 2】

(a), (b) は、それぞれ図 15 に示す IIa-IIa 線断面における従来の H F E T のエネルギーバンド図、及び図 1 に示す IIb-IIb 線断面における第 1 の実施形態に係る通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図

【図 3】

本発明の第 2 の実施形態に係る通信機器用半導体装置を示す断面図

【図 4】

(a), (b) は、それぞれ図 15 に示す IIa-IIa 線断面における従来の H F E T のエネルギーバンド図、及び図 3 の IVb-IVb 線断面における第 2 の実施形態に係る通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図

【図 5】

本発明の第 3 の実施形態に係る通信機器用半導体装置を示す断面図

【図 6】

(a), (b) は、それぞれ図 15 に示す IIa-IIa 線断面における従来の H F E T のエネルギーバンド図、及び図 5 に示す VIb-VIb 線断面における第 3 の実施形態に係る通信機器用半導体装置のエネルギーバンド図

【図 7】

本発明の第 4 の実施形態に係るミリ波を利用した通信システムの全体概念の一例を示す斜視図

【図 8】

図 7 に示す基地局と各家庭やオフィス内の無線端末との間における通信システムの構成を概略的に示すブロック図

**【図 9】**

図 8 に示す基地局の内部構成をより詳細に示すブロック回路図

**【図 10】**

図 9 に示す送信増幅部に配置されているメインアンプの構造例を示す電気回路図

**【図 11】**

第 4 の実施形態に係る通信システムで用いられる半導体集積回路装置（MMIC）の断面図

**【図 12】**

図 8 に示す通信システム中の無線端末（移動局）の一例を概略的に示す図

**【図 13】**

図 9 または図 12 に示すミキサの回路構成例を示す電気回路図

**【図 14】**

図 12 に示す SPDT スイッチを含む高出力スイッチ回路、または図 9 に示すアンテナスイッチに配置される高出力スイッチ回路の例を示す電気回路図

**【図 15】**

従来の H F E T の構造を示す断面図

**【符号の説明】**

101, 151, 251, 410    I n P 基板

102, 152, 252    バッファ層

103    チャネル層

104, 254, 419    チャネル内挿入層

105, 155, 256    スペーサ層

106, 156, 257    不純物添加層

107, 157, 258    バリヤ層

108, 158, 258    コンタクト層

109, 159, 260    二次元電子ガス

110, 160, 261    ドレイン電極

111, 161, 262    ソース電極

112, 162, 263, 442 ゲート電極  
114, 164, 264 ソース領域  
115, 165, 265 ドレイン領域  
153, 253 第2チャネル層  
154, 255 第1チャネル層  
300 光ファイバー網  
301 無線基地局  
302 無線端末  
311 アンテナ装置  
311a アンテナ本体  
311b アンテナスイッチ  
312, 322 受信増幅部  
313, 323 送信増幅部  
314 無線送受信部  
315, 325 制御部  
316 有線接続部  
317 ベースバンド信号処理部  
318 インタフェース部  
319 交換制御部  
320 電源部  
321 アンテナ装置  
331, 336, 339 フィルタ  
332 低雑音アンプ  
334 ミクサ  
335 ドライバアンプ  
338 メインアンプ  
411 素子分離用絶縁膜  
412 多重 $\delta$ ドーピングInGaAs層  
412a, 413a n型ドーピング層

4 1 2 b, 4 1 3 b アンドープ層

4 1 7 I n G a A s 層

4 1 8 I n P 層

4 2 0 ショットキーダイオード

4 3 0 M E S F E T

4 4 0 H F E T

4 5 0 キャパシタ

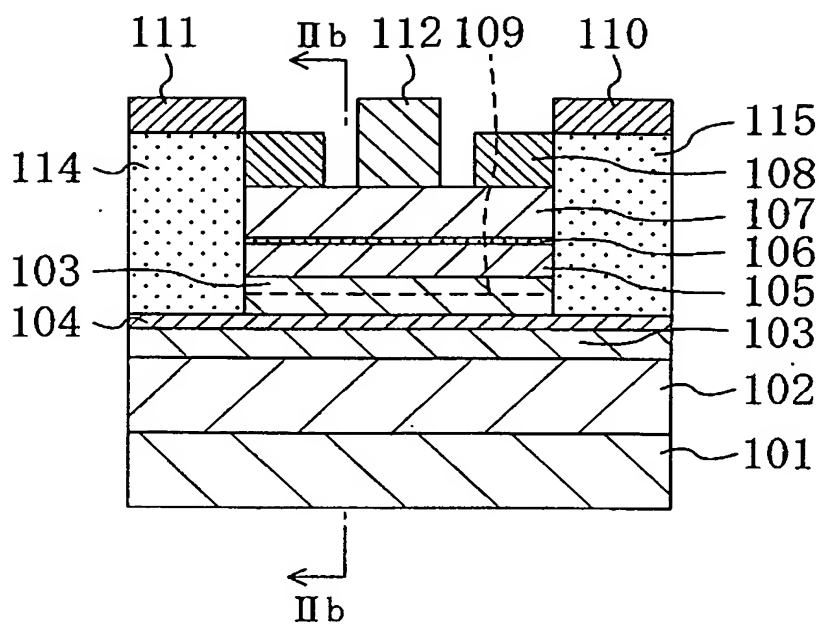
4 6 0 インダクタ

E 1' 下位の量子準位

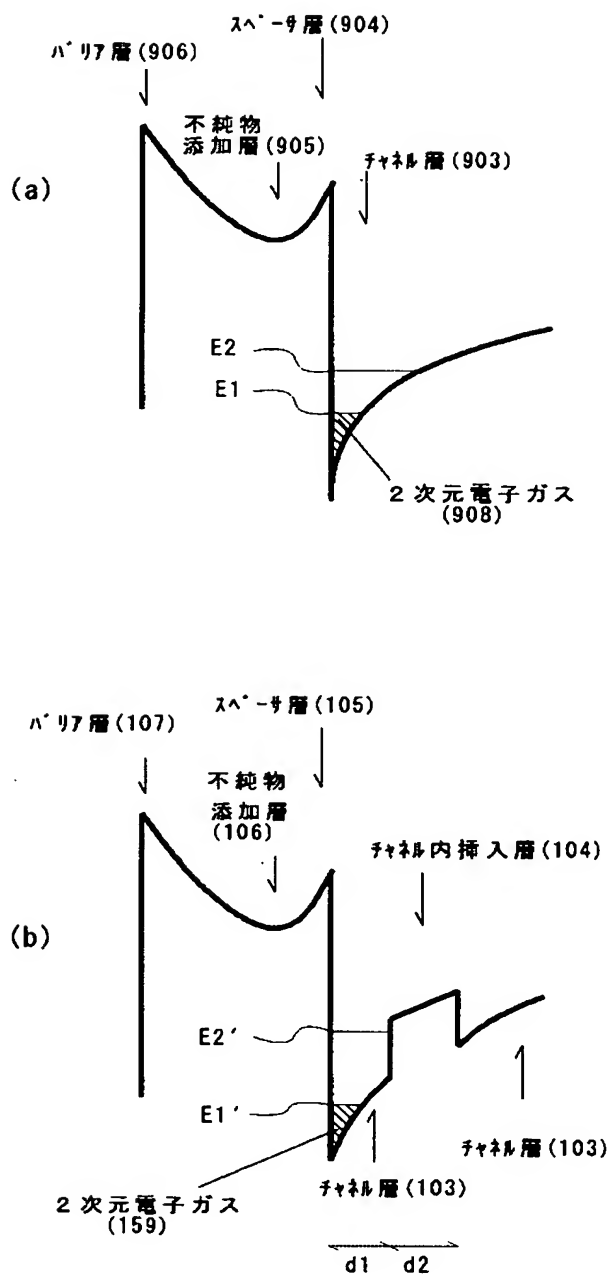
E 2' 上位の量子準位

【書類名】 図面

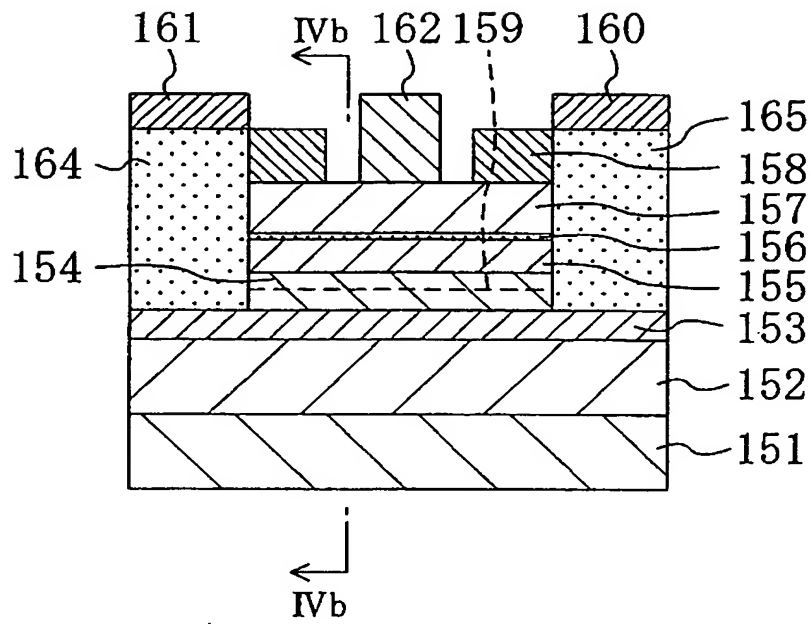
【图 1】



【図 2】

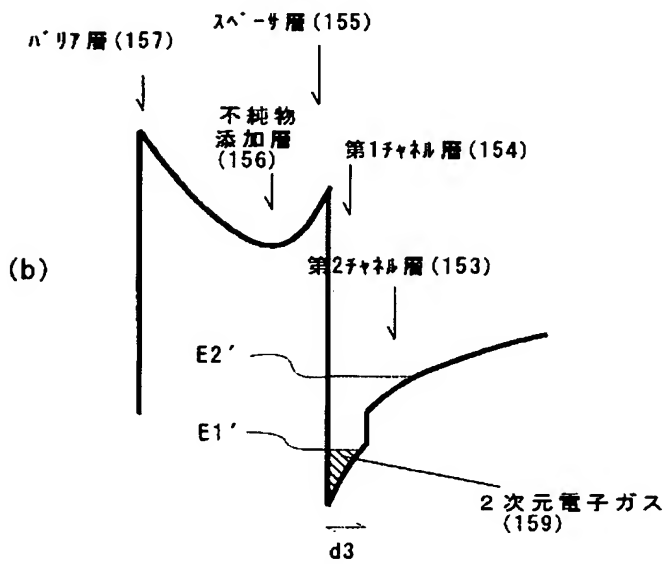
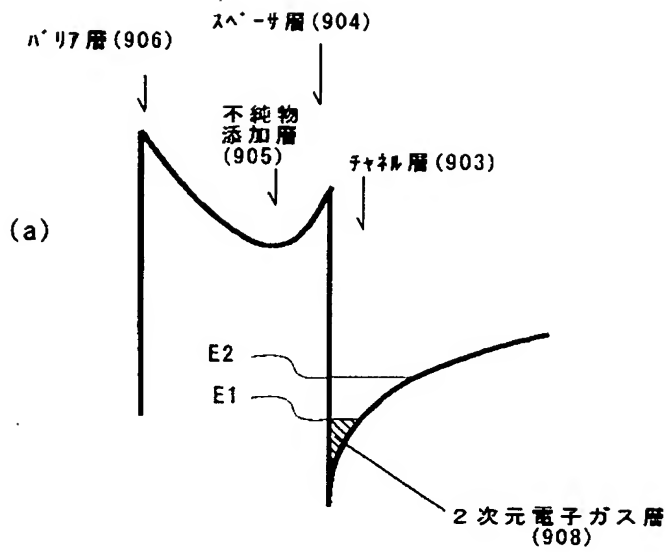


【図 3】

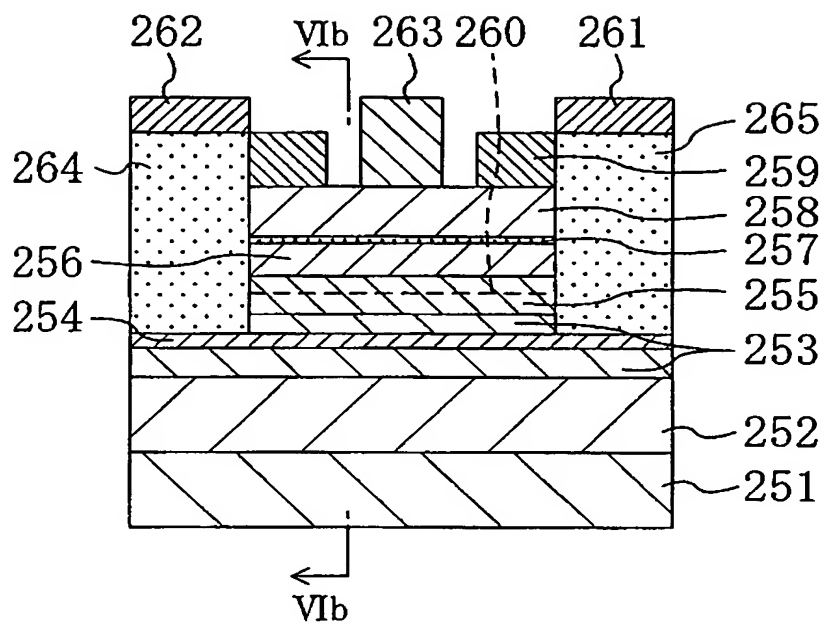




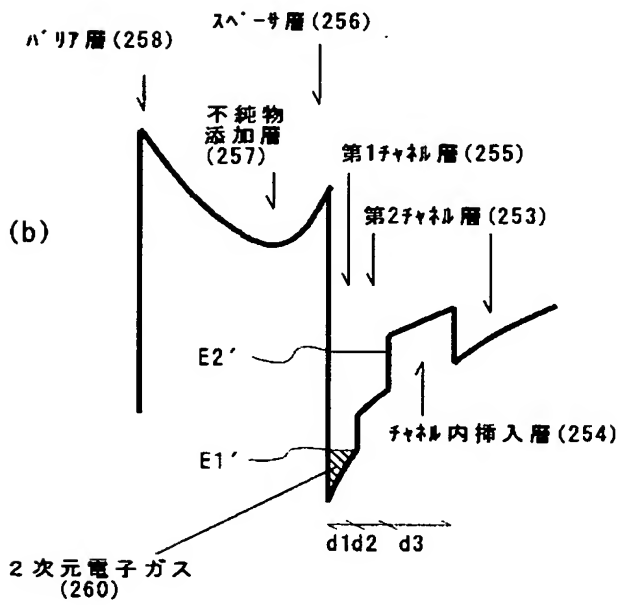
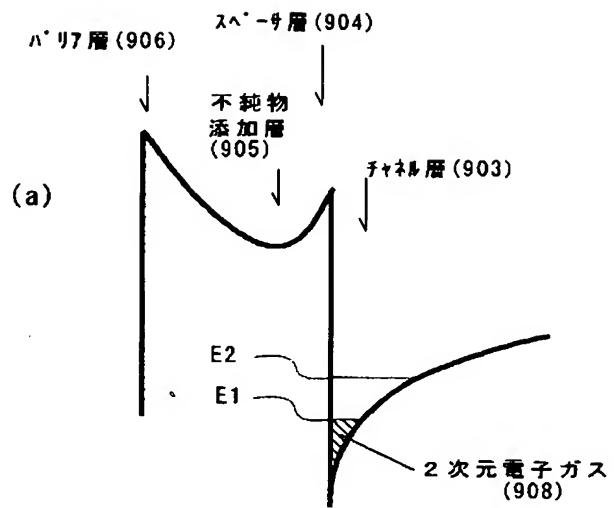
【図 4】



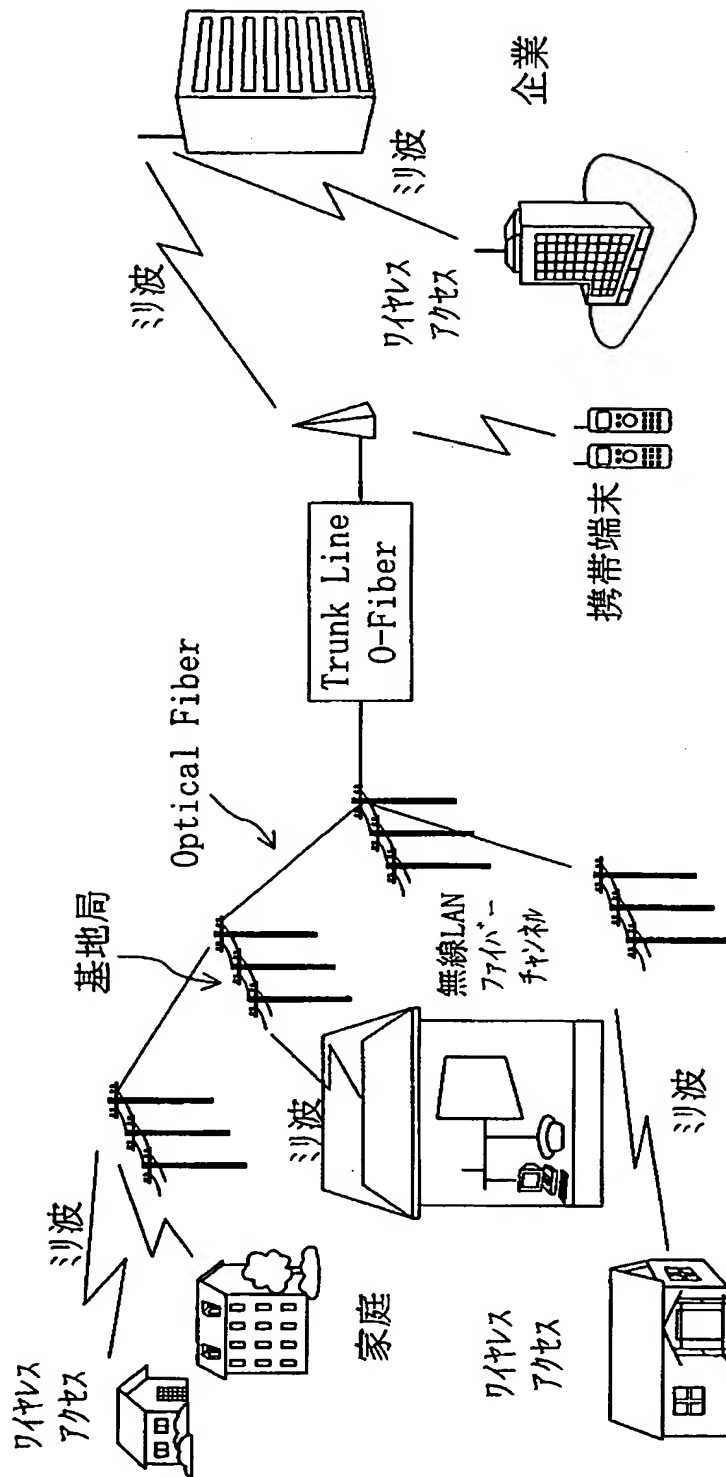
【図 5】



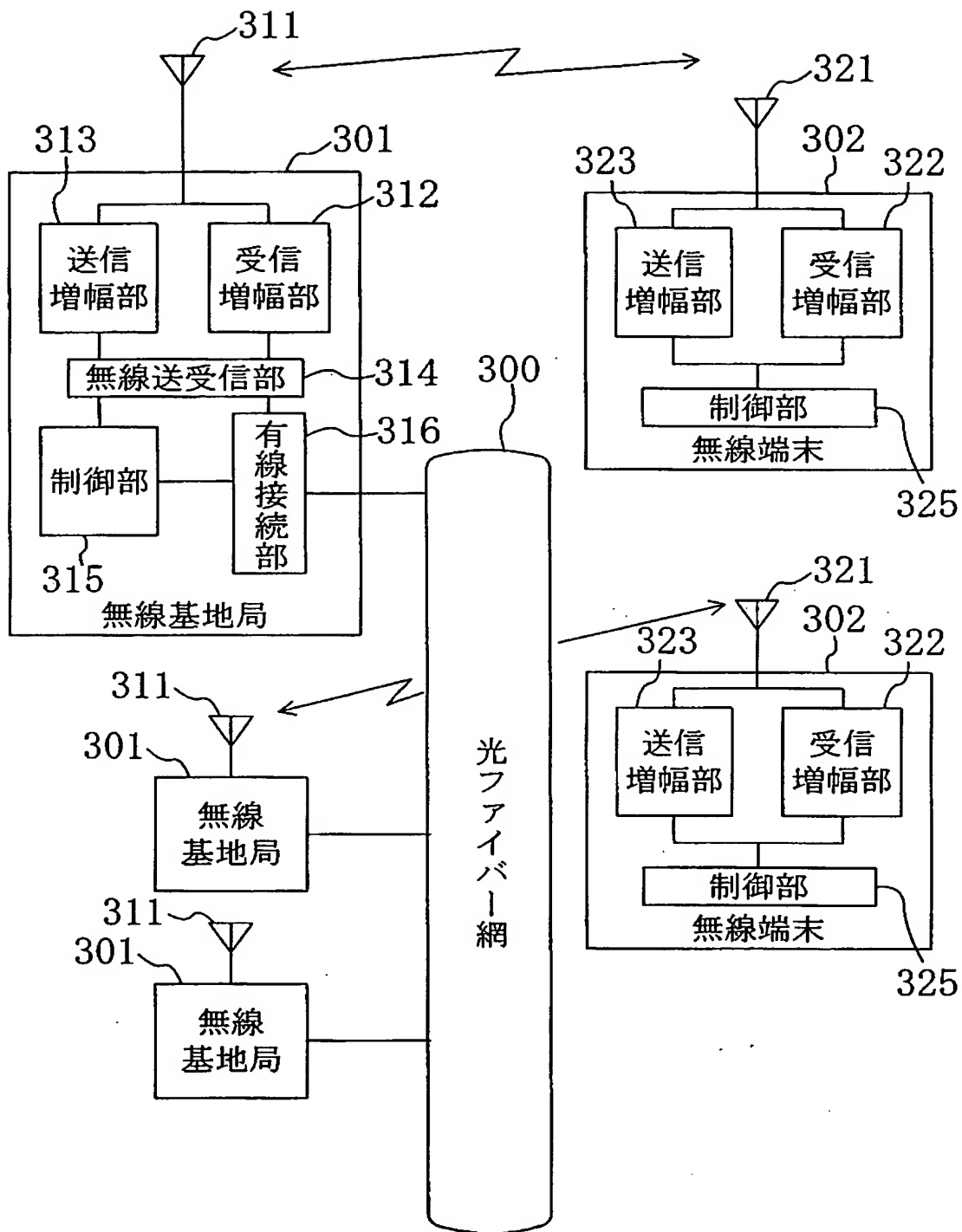
【図 6】



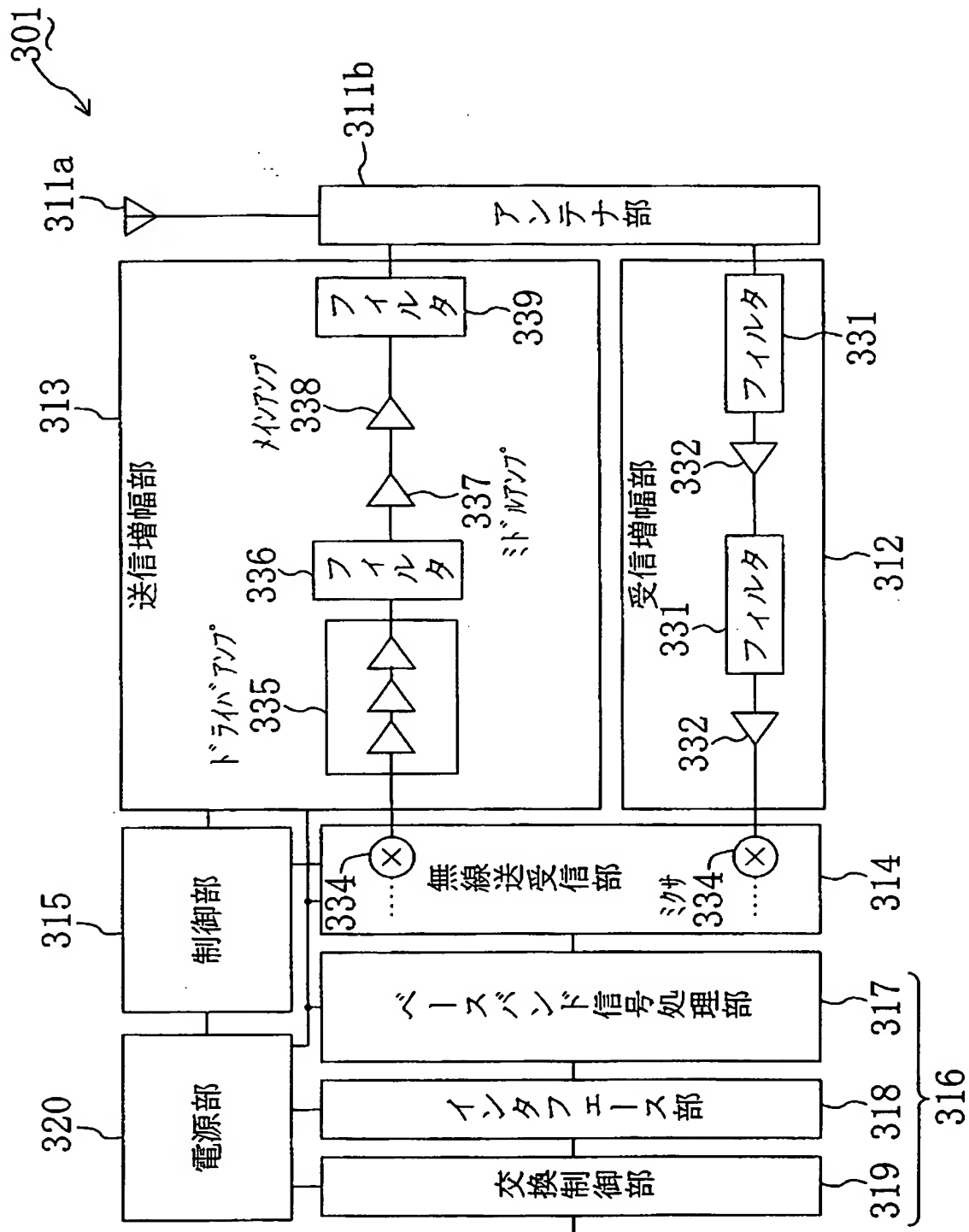
【図 7】



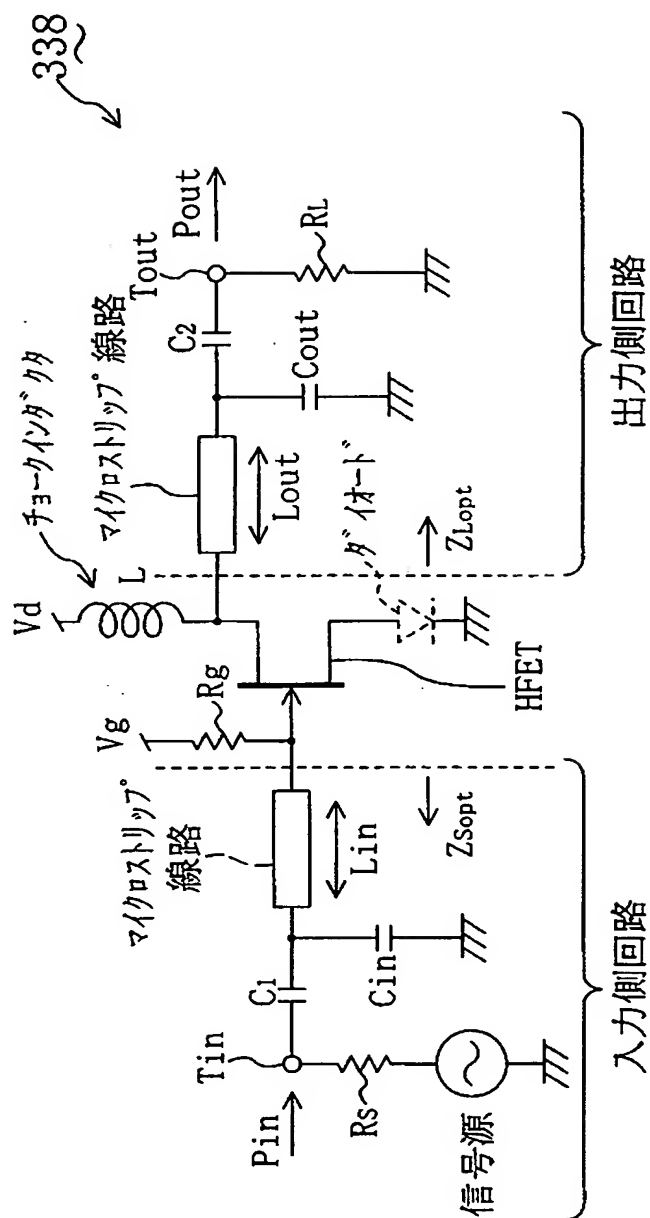
【図 8】



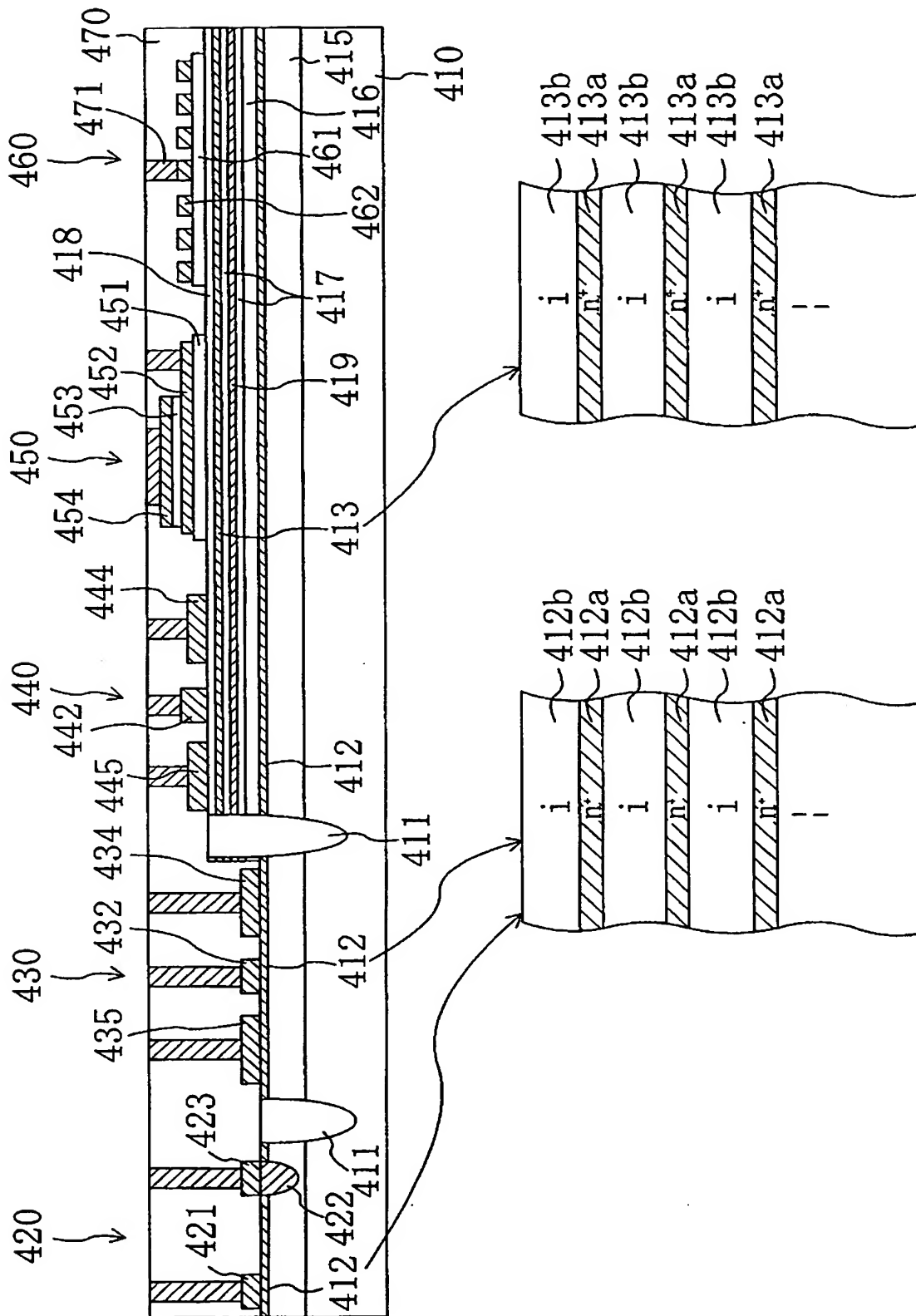
【図 9】



【図 10】



【図 11】

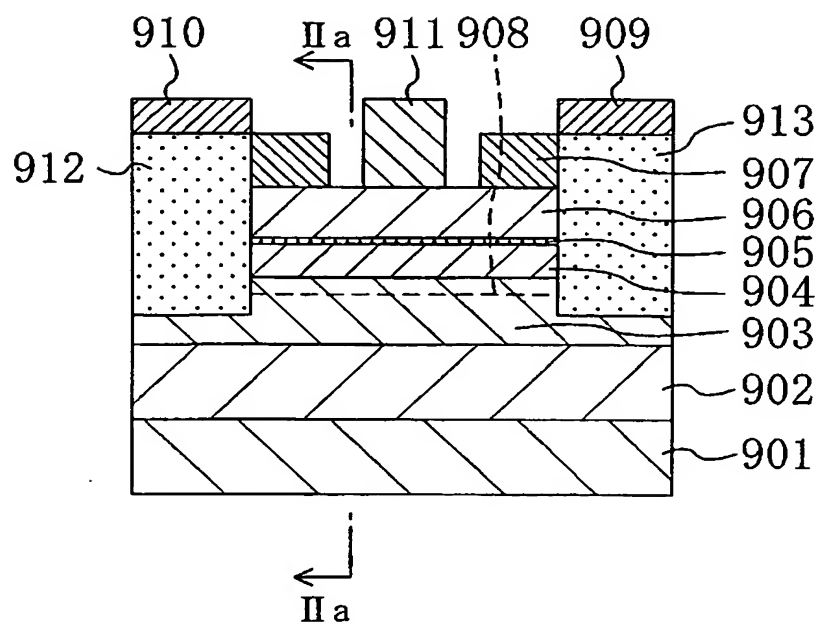








【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 チャネル層における衝突イオン化及びキャリアの高い量子準位への遷移を抑制することにより、優れた高周波特性を有し、且つ高2次元電子ガス移動度、耐圧性及び電気的特性の安定性を向上させた通信機器用半導体装置を提供する。

【解決手段】 本発明の半導体装置は、InGaAsからなるチャネル内挿入層254が埋め込まれたInGaAsSbからなる第2チャネル層253を備えている。これにより、第2チャネル層253における量子準位が調節されるので、衝突イオン化及びキャリアの高い量子準位への遷移が抑制され、転位などの欠陥が無いInGaAsSbをチャネル層253に使用することができるため2次元電子ガスの移動度が向上して高周波特性が改善される。

【選択図】 図5

特願 2002-318190

出願人履歴情報

識別番号

[000005821]

1. 変更年月日

1990年 8月28日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府門真市大字門真1006番地

氏 名

松下電器産業株式会社